



## אנרגיה וסביבה

# מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה לייצור חשמל מאנרגיית השמש

סיכום והמלצות דיון פורום אנרגיה 47

פרופ' גרשון גרוסמן  
נעמה שפירא





# מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה לייצור חשמל מאנרגיית השמש

סיכום והמלצות דיון  
פורום האנרגיה של מוסד שמואל נאמן  
מיום 27/06/2019

נערך על ידי:  
פרופ' גרשון גרוסמן  
נעמה שפירא

אוגוסט, 2019

---

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

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

---

## רשימת משתתפי הפורום

---

פרופ' אורבך דורון – אוניברסיטת בר אילן  
מר אלעזרי עמי – מילניום אלקטריק בע"מ  
ד"ר אנקונינה גיא – הפקולטה להנדסת חשמל, הטכניון  
ד"ר ארביב אברהם – לשעבר, סגן המדען הראשי, משרד האנרגיה  
מר ברק עידן – ראש תחום טכנולוגיות, קבוצת אגירת האנרגיה, אורמת בע"מ  
פרופ' גרוסמן גרשון – ראש פורום אנרגיה, מוסד שמואל נאמן  
מר גרין מייק – M.G. Lightning Electrical Engineering  
מר הנדלסמן ליאור – VP Marketing & Product Strategy, Founder, SolarEdge  
ד"ר זרחיה עוזי – מנהל מגזר פיתוח מקורות אנרגיה, אגף תפ"ט, חברת החשמל  
ד"ר לב-און מרים – The Levon Group LLC  
ד"ר לב-און פרי – The Levon Group LLC  
מר פורטוגלי אמנון  
ד"ר פרידמן גדעון – ממלא מקום המדען הראשי וראש אגף מחקר ופיתוח, משרד האנרגיה  
עו"ד פרנס איתן – מנכ"ל, איגוד חברות אנרגיה ירוקה לישראל  
מר קליינר אלכסנדר – משרד האנרגיה  
מר רומנו איציק – אגף בינוי ותחזוקה, הטכניון  
מר שדות עמק – מנכ"ל, פורסייט אנרגיה  
מר שופרוני גל – ראש תחום אנרגיות מתחדשות, רשות החשמל  
גב' שפירא נעמה – עוזרת מחקר, מוסד שמואל נאמן

### הבעת תודה

המחברים מודים למרצים על המידע שהציגו ולכלל משתתפי הפורום על תרומתם לדין הפתוח.



3.....	רשימת משתתפי הפורום.....
5.....	תקציר מנהלים.....
7.....	1. הקדמה.....
8.....	2. רקע.....
10.....	3. מידע בנושא: מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה לייצור חשמל מאנרגיית השמש.....
20.....	4. דיון.....
30.....	5. סיכום והמלצות.....
31.....	נספח 1: תוכנית פורום האנרגיה.....

בשנת 2018 הותקנו ברחבי העולם יותר מ-100 ג'יגה-ואט של אנרגיה סולארית, וסך הקיבולת העולמית של אנרגיה זו עבר את רף ה-500 ג'יגה-ואט. היקף זה מהווה עלייה של 4% לעומת 2017, ולעומת עליות של 30% ו-50% בשנתיים הקודמות, בהתאמה. אנרגיה סולארית הייתה בשנת 2018 הטכנולוגיה עם היקף ההתקנות הרחב ביותר (36%), כפול מהיקף ההתקנות של אנרגיית רוח ותחנות כוח מופעלות בפחם, ומשתווה להיקף ההתקנות של פחם, גז טבעי וגרעין ביחד. עם זאת, אנרגיה סולארית רחוקה ממיצוי הפוטנציאל הרחב שלה, והיא מהווה בסוף 2018 רק 2.2% מייצור החשמל העולמי.

מחירי האנרגיה הסולארית הפוטו-וולטאית (PV) ירדו בעשור האחרון בצורה מרשימה – ממחיר ממוצע של 350 דולר למגה-ואט-שעה בשנת 2009 עד למחיר ממוצע של פחות מ-50 דולר בשנת 2018 – מחיר שמתחרה עם אנרגיית רוח והינו זול יותר ממקורות פוסיליים. בשנת 2018 ירדו מחירי האנרגיה הסולארית ב-14% לעומת 2017, ובמקומות שטופי שמש מחיר החשמל ירד לאזור ה-2 סנט לכל קוט"ש (דרום ארה"ב, ערב הסעודית, איחוד האמירויות, מצרים). באופן כללי ניתן לומר שהמחיר במדינות מתפתחות הינו גבוה יותר לעומת כלכלות עם מדיניות יציבה. אלא שצמיחה אינה מתאפשרת על ידי מחיר נמוך בלבד, וכדי שזו תקרה נדרשת מדיניות נכונה ועיצוב שוק האנרגיה כמכלול; במקומות שונים בעולם, כמו סין, ארה"ב והודו נרשמה ב-2018 עצירה ואף התכווצות של השוק הסולארי בעוד שבמקומות אחרים, כמו אירופה או אוסטרליה נרשם גידול (21% ו-300%, בהתאמה). בעוד שבאירופה, ניתן לייחס את הגידול ליעדים הלאומיים ל-2020 של האיחוד האירופי, בסין, ניתן לייחס את הירידה בהיקף ההתקנות לעצירת תוכנית הסובסידיות במאי 2018. עם זאת, מדובר כנראה על האטה זמנית בשל אי מוכנות הרשת לקבל את האנרגיה הסולארית בדרום מערב המדינה. סין, שהינה המובילה העולמית בהיקף ההתקנות, הייתה גם המדינה הראשונה שזיהתה את החשיבות האסטרטגית בבעלות על כל שרשרת האספקה של הייצור הסולארי הן לתעשייה והן לביטחון האנרגטי, כמו גם המחיר הנמוך והגמישות של ייצור חשמל נקי. עצירת תוכנית הסובסידיות הינה שלב מעבר מתעריפים נדיבים מידי לעבר מנגנון תמריצים יעיל כלכלית, ומגמה דומה נרשמת כמעט בכל העולם.

אם בעבר יושמה במדינות רבות מדיניות שתכליתה לעודד חדירה של אנרגיה מתחדשת שתחליף דלקים פוסיליים, תוך מתן סובסידיות או תמריצים כלכליים אחרים, בעיקר בשל סוגיית שינויי האקלים, הרי שכיום, לאור הירידה במחירים של אנרגיה זו, החדירה הנרחבת שלה באזורים מסוימים וההשלכות על רשת החשמל, נדרשת מדיניות שונה. כיום, ברוב העולם, התעריפים על ייצור חשמל בשעות הצוהריים (שיא הייצור הסולארי) הינם נמוכים והתעריפים לרכישת חשמל מהרשת בשעות הערב הינם גבוהים, מה שהופך את המערכות הסולאריות ללא כדאיות. כתוצאה מכך, ניתנת עדיפות למקסימום צריכה עצמית, והדרך לעשות זאת היא באמצעות הוספת אגירה, כאשר הירידה במחירי הסוללות תומכת בפיתוח שוק זה.

מחירי סוללות ליתיום-יון ירדו ב-85% בשנים האחרונות, ממחיר ממוצע של 1,160 דולר לקוט"ש ב-2010 למחיר של 176 דולר לקוט"ש ב-2018 והתחזית היא שהמחיר ירד אף מתחת ל-100 דולר ב-2024. לצד טכנולוגיות אגירה נוספות, סוללות ליתיום-יון הינן הדומיננטיות היום בשוק הסוללות והמגמה רק תתחזק לאור השקעות גדולות שמבוצעות בשנים אלו במפעלי ייצור בסין, ארה"ב, תאילנד ועוד, מה שמגדיל את התמריץ לשיפור הטכנולוגיה הקיימת ולא לאימוץ טכנולוגיות חדשות. עם זאת, כיום מדובר בעיקר על אגירה לטווח קצר (כ-4 שעות), ויש הטוענים שזה לא יהיה מספיק לשם תמיכה בחדירה של אנרגיה מתחדשת בהיקפים גדולים. הבנק

העולמי צופה שהביקוש לסוללות יגיע ל-2,800 ג'יגה-ואט-שעה בשנת 2040 (יותר ממחצית מהחשמל המיוצר כיום מאנרגיה מתחדשת ברחבי העולם ביום).

בעת האחרונה התחזקה ההפנמה שהחיבור של שני הרכיבים, מערכות סולאריות ואגירה, משנה את התמונה – בנוסף לכך שהשילוב ביניהם מאפשר הורדת המחיר לקוט"ש, הוא גם מאפשר תועלות רבות לרשת החשמל – סוללות המותקנות כיום בעולם משמשות בעיקר לייצוב תדר (כמחצית מהקיבולת המותקנת) וכן כרזרבה לכושר הייצור, לצורך ניהול חשבון החשמל, להסטת עומסים ועוד.

הירידה הדרמטית במחירן של מערכות פוטו-וולטאיות בעשור האחרון הביאה לשינוי מהותי ביותר בתחום ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות. לאחר תקופה ארוכה בה היה מחירו של חשמל פוטו-וולטאי גבוה מכדי לאפשר שימוש נרחב, כיום הוא מהווה מקור תחרותי לחשמל מתחנות כוח, ובקנה מידה של הרשת הארצית. אנרגיה סולארית היא מקור אנרגיה רצוי אך לא יציב, ולא תמיד מספק את החשמל במועד בו הוא דרוש. השילוב של מערכות סולאריות פוטו-וולטאיות עם אגירה מהווה למעשה מקור אנרגיה מתחדשת חדש, שנותן מענה לאספקת חשמל אמין, רציף ובמועד הנדרש. הוספת אגירה למערכת סולארית מהווה לא רק פתרון לסוגיית אי-ההתאמה בין מועד האספקה והצריכה, אלא שיש בה פוטנציאל להוספת ערך משמעותי, לבעלי עניין שונים, בזמנים שונים של היום והשנה. אותה סוללה המשמשת את הבית הפרטי יכולה לשמש גם את רשתות החלוקה וגם את רשתות ההולכה - לגיבוי, לייצוב תדר ברשת ועוד.

## המלצות:

1. מומלץ לאפשר למתקנים המשלבים מערכות סולאריות ואגירה להנות מהטבה של Net Energy Metering: בעלי המתקנים המשולבים יכולים להזין אנרגיה לרשת ולקבל קרדיט על כולה (בישראל כיום לא ניתן היתר לסוללות להזין חשמל לרשת).
2. מומלץ לבנות רגולציה מעודדת אגירה - כיום הנושא לא מוסדר באמות המידה של רשות החשמל: אין תמריצים לשימוש יעיל או קנסות לשימוש לא יעיל, בהתאם לצרכי רשת החשמל (בדומה, למשל, למנגנון Demand charge). גם אין תמריצים כלכליים לפיתוח נושא האגירה, הצרכן לא מתמודד עם עודפי הייצור שלו.
3. לאחרונה (אוגוסט 2019) פרסמה רשות החשמל טיוטת רגולציה לעיון הציבור (שימוע) בנושא זה.
4. יש לבנות מנגנון ורגולציה מתאימה לטיפול בר קיימא בסוללות בסוף חייהן.
4. מומלץ לפתח את הנושא של תחנות וירטואליות באמצעות רגולציה מתאימה למטרה זו (הזנת אנרגיה לרשת, קניית חשמל בתעריף עודף ועוד). בתחנות הווירטואליות מערכת הניהול מבטיחה טעינת הסוללות בזמני עודף ייצור ואספקה לרשת בזמני ביקוש עודף. ההשקעה של מנהל המערכת בפתרונות כאלה הינה עשירית מההשקעה בתשתיות פיזיות, וכך המתווה הפיננסי הנפוץ הוא תמיכה חלקית או סבסוד של המערכות תמורת שימוש בהן במשך כמה שעות בשנה – זה משתלם לשני הצדדים, ומאפשר להימנע מתהליך של הרחבת או שדרוג תשתיות (הקמת תחנות כוח, קווי הולכה, תחנות משנה ועוד).

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 הדין בנושא: "מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה לייצור חשמל מאנרגיית השמש", התקיים ב-27 ליוני 2019 בטכניון. 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 באתר מוסד שמואל נאמן: <http://www.neaman.org.il/> (לשונית 'אנרגיה'). 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 והפעולות הנדרשות על מנת לבחון את האפשרויות השונות ליישום הנושא של מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה לייצור חשמל מאנרגיית השמש.

בשנת 2018 הותקנו ברחבי העולם יותר מ-100 ג'יגה-ואט של אנרגיה סולארית, וסך הקיבולת העולמית של אנרגיה זו עבר את רף ה-500 ג'יגה-ואט. היקף זה מהווה עלייה של 4% לעומת 2017, ולעומת עליות של 30% ו-50% בשנתיים הקודמות, בהתאמה. אנרגיה סולארית הייתה בשנת 2018 הטכנולוגיה עם היקף ההתקנות הרחב ביותר (36%), כפול מהיקף ההתקנות של אנרגיית רוח ותחנות כוח מופעלות בפחם, ומשתווה להיקף ההתקנות של פחם, גז טבעי וגרעין ביחד. עם זאת, אנרגיה סולארית רחוקה ממיצוי הפוטנציאל הרחב שלה, והיא מהווה בסוף 2018 רק 2.2% מייצור החשמל העולמי<sup>1</sup>.

מחירי האנרגיה הסולארית הפוטו-וולטאית (PV) ירדו בעשור האחרון בצורה מרשימה – ממחיר ממוצע של 350 דולר למגה-ואט-שעה בשנת 2009 עד למחיר ממוצע של פחות מ-50 דולר בשנת 2018 – מחיר שמתחרה עם אנרגיית רוח והינו זול יותר ממקורות פוסיליים. בשנת 2018 ירדו מחירי האנרגיה הסולארית ב-14% לעומת 2017, ובמקומות שטופי שמש מחיר החשמל ירד לאזור ה-2 סנט לכל קוט"ש (דרום ארה"ב, ערב הסעודית, איחוד האמירויות, מצרים). באופן כללי ניתן לומר שהמחיר במדינות מתפתחות הינו גבוה יותר לעומת כלכלות עם מדיניות יציבה<sup>2</sup>. אלא שצמיחה אינה מתאפשרת על ידי מחיר נמוך בלבד, וכדי שזו תקרה נדרשת מדיניות נכונה ועיצוב שוק האנרגיה כמכלול; במקומות שונים בעולם, כמו סין, ארה"ב והודו נרשמה ב-2018 עצירה ואף התכווצות של השוק הסולארי בעוד שבמקומות אחרים, כמו אירופה או אוסטרליה נרשם גידול (21% ו-300%, בהתאמה). בעוד שבאירופה, ניתן לייחס את הגידול ליעדים הלאומיים ל-2020 של האיחוד האירופי, בסין, ניתן לייחס את הירידה בהיקף ההתקנות לעצירת תוכנית הסובסידיות במאי 2018. עם זאת, מדובר כנראה על האטה זמנית בשל אי מוכנות הרשת לקבל את האנרגיה הסולארית בדרום מערב המדינה. סין, שהינה המובילה העולמית בהיקף ההתקנות, הייתה גם המדינה הראשונה שזיהתה את החשיבות האסטרטגית בבעלות על כל שרשרת האספקה של הייצור הסולארי הן לתעשייה והן לביטחון האנרגטי, כמו גם המחיר הנמוך והגמישות של ייצור חשמל נקי. עצירת תוכנית הסובסידיות הינה שלב מעבר מתעריפים נדיבים מידי לעבר מנגנון תמריצים יעיל כלכלית, ומגמה דומה נרשמת כמעט בכל העולם.

אם בעבר יושמה במדינות רבות מדיניות שתכליתה לעודד חדירה של אנרגיה מתחדשת שתחליף דלקים פוסיליים, תוך מתן סובסידיות או תמריצים כלכליים אחרים, בעיקר בשל סוגיית שינויי האקלים, הרי שכיום, לאור הירידה במחירים של אנרגיה זו, החדירה הנרחבת שלה באזורים מסוימים וההשלכות על רשת החשמל, נדרשת מדיניות שונה. כיום, ברוב העולם, התעריפים על ייצור חשמל בשעות הצהריים (שיא הייצור הסולארי) הינם נמוכים והתעריפים לרכישת חשמל מהרשת בשעות הערב הינם גבוהים, מה שהופך את המערכות הסולאריות ללא כדאיות. כתוצאה מכך, ניתנת עדיפות למקסימום צריכה עצמית, והדרך לעשות זאת היא באמצעות הוספת אגירה, כאשר הירידה במחירי הסוללות תומכת בפיתוח שוק זה.

מחירי סוללות ליתיום-יון ירדו ב-85% בשנים האחרונות, ממחיר ממוצע של 1,160 דולר לקוט"ש ב-2010 למחיר של 176 דולר לקוט"ש ב-2018 והתחזית היא שהמחיר ירד אף מתחת ל-100 דולר ב-2024<sup>3</sup>. לצד טכנולוגיות

<sup>1</sup> [www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/05/SolarPower-Europe-Global-Market-Outlook-2019-2023.pdf](http://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/05/SolarPower-Europe-Global-Market-Outlook-2019-2023.pdf)

<sup>2</sup> Ibid.

<sup>3</sup> <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>

אגירה נוספות<sup>4</sup>, סוללות ליתיום-יון הינן הדומיננטיות היום בשוק הסוללות<sup>5</sup> והמגמה רק תתחזק לאור השקעות גדולות שמבוצעות בשנים אלו במפעלי ייצור בסין, ארה"ב, תאילנד ועוד, מה שמגדיל את התמריץ לשיפור הטכנולוגיה הקיימת ולא לאימוץ טכנולוגיות חדשות. עם זאת, כיום מדובר בעיקר על אגירה לטווח קצר (כ-4 שעות), ויש הטוענים שזה לא יהיה מספיק לשם תמיכה בחדירה של אנרגיה מתחדשת בהיקפים גדולים<sup>6</sup>. הבנק העולמי צופה שהביקוש לסוללות יגיע ל-2,800 ג'יגה-ואט-שעה בשנת 2040 (יותר ממחצית מהחשמל המיוצר כיום מאנרגיה מתחדשת ברחבי העולם ביום)<sup>7</sup>.

השילוב של מקור אנרגיה סולארי עם אגירה מהווה למעשה מקור אנרגיה מתחדשת חדש. בעת האחרונה התחזקה ההפנמה שהחיבור של שני הרכיבים, מערכות סולאריות ואגירה, משנה את התמונה – בנוסף לכך שהשילוב ביניהם מאפשר הורדת המחיר לקוט"ש<sup>8,9</sup>, הוא גם מאפשר תועלות רבות לרשת החשמל – סוללות המותקנות כיום בעולם משמשות בעיקר לייצוב תדר (כמחצית מהקיבולת המותקנת) וכן כרזרבה לכושר הייצור, לצורך ניהול חשבון החשמל, להסטת עומסים ועוד<sup>10</sup>.

---

<sup>4</sup> טכנולוגיות אגירה כמו אגירה שאובה (המהווה כיום מעל 90% מהספק האגירה המותקן), אגירה תרמית (בעיקר אגירת מלח מותר) ואגירה אלקטרו-מכנית (בעיקר גלגלי תנופה - Flywheel).

<sup>5</sup> <https://www.irena.org/>

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA\\_Electricity\\_Storage\\_Costs\\_2017\\_Summary.pdf?la=en&hash=2FDC44939920F8D2BA29CB762C607BC9E882D4E9](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017_Summary.pdf?la=en&hash=2FDC44939920F8D2BA29CB762C607BC9E882D4E9)

<sup>6</sup> <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-04-03/battery-reality-there-s-nothing-better-than-lithium-ion-coming-soon>

<sup>7</sup> <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2019/05/16/four-things-you-should-know-about-battery-storage>

<sup>8</sup> <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/71714.pdf>

<sup>9</sup> <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-and-levelized-cost-of-storage-2018/>

<sup>10</sup> <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/bg/Documents/energy-resources/gx-er-challenges-opportunities-global-battery-storage-markets.pdf>

## 3. מידע בנושא: מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה לייצור חשמל מאנרגיית השמש

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, כאמור, באתר מוסד שמואל נאמן (<http://www.neaman.org.il/>). 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.

### ליאור הנדלסמן - Solar Edge

#### PV + StorEdge systems – Global outlook and future trends

כחברה גלובלית עם פעילות ענפה בכל העולם יש לנו גם ראייה כלכלית וגם ראייה טכנית על מה שקורה בתחום האגירה בעולם. בראייתנו, הנושאים של אנרגיה סולארית, סוללות, אגירה וגם מערכות הנעה של כלי רכב חשמליים מתלכדים ומשרתים אותה תכלית.

מחירי האנרגיה הסולארית ירדו בעשור האחרון בצורה מרשימה ומחירה כיום מתחרה עם אנרגיית רוח והינו זול יותר ממקורות פוסיליים<sup>11</sup>, ולכן יש גידול ניכר בייצור אנרגיה סולארית בעולם.

אני מציע להסתכל על הדרך שבה דברים מתפתחים בשוק האנרגיה באמצעות סוגיית התעריפים. זה מאוד השליך על נושא הטכנולוגיה וזה מה שמוביל עכשיו את נושא האגירה. בעבר, מערכות סולאריות עבדו בשיטה של Feed-in-Tariff (FIT): האנרגיה הסולארית הזנה לרשת בתעריף קבוע ועודף (מעל מחירי החשמל לצרכנים), ומדינות התקינו תמריצים כאלה בעיקר כדי לעודד אנרגיה סולארית על מנת שתוכל להתחרות באנרגיה פוסילית. לדוגמא, באוסטרליה, לפני עשר שנים התעריף היה 60 סנט (דולר אוסטרלי) לקוט"ש והיום התעריף הוא סביב 7-8 סנט במהלך היום, אך המחירים בערב מאמירים פי שתיים ויותר<sup>12</sup>, בשל מחסור גדול בשעות אלו, וזה מניח את היסוד התעריפי לכך שאגירה הופכת להיות כלכלית.

חלק אחר של העולם, בהובלת ארה"ב, לא עובד בשיטת FIT אלא בשיטת Net Metering (קיים כיום בישראל למערכות מסחריות): חברת החשמל מתחשבת עם הלקוחות לאורך שנה שלמה – מקזזת את הייצור העצמי באנרגיה סולארית מצריכת החשמל מהרשת. זה דומה לאגירה פיננסית – ייצור ואגירת קרדיט בקיץ וצריכה בחורף. רוב מדינות ארה"ב עובדות בשיטה זו<sup>13</sup> וזה הוביל לתופעה שמודגמת בעקומת הברווז – חדירה מאסיבית של אנרגיה סולארית מביאה לירידה חדה בביקושים לחשמל מהרשת בשעות הצהריים, אך שיא הביקושים בשעות הערב עדיין מתרחש. לדוגמא, ביום טיפוס בקליפורניה הפער בביקושים בין הצהריים לערב (הפרש של שלוש שעות) מגיע ל-13 אלף מגה-ואט שהם כמחצית מכושר הייצור, וזאת תופעה שלחברות החשמל מאוד קשה להתמודד איתה. אנחנו מתקרבים לסכנה אמיתית של עודף ייצור (Overgeneration) – חברות החשמל לא יכולות להוריד את ייצור החשמל המרכזי שלהן מתחת לרמה מסוימת, ואם מגיעים לרמה הזאת הרשת

<sup>11</sup> [www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/05/SolarPower-Europe-Global-Market-Outlook-2019-2023.pdf](http://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/05/SolarPower-Europe-Global-Market-Outlook-2019-2023.pdf)

<sup>12</sup> <https://www.ipart.nsw.gov.au/Home/Industries/Energy/Reviews/Electricity/Solar-feed-in-tariffs-201819>

<sup>13</sup> [https://ncsolarcen-prod.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2019/05/DSIRE\\_Net\\_Metering\\_April2019.pdf](https://ncsolarcen-prod.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2019/05/DSIRE_Net_Metering_April2019.pdf)

הופכת ללא יציבה. כתוצאה מכך, קליפורניה העבירה גם את הבתים הפרטיים וגם את המערכות המסחריות לתעריפים של Time of Use, שזה מקביל לתעריפי תעו"ז (תעריף עומס וזמן) בארץ – לחשמל במהלך היום יש מחיר מסוים, ולחשמל בערב יש מחיר אחר שהוא משמעותית יותר גבוה, מה שהפך מערכות סולאריות ללא כדאיות: אני מייצר ומוכר חשמל בצוהריים במחיר נמוך וצורך בערב חשמל במחיר גבוה. לכן העולם הולך לכיוון של מקסימום צריכה עצמית וניתן לראות זאת בכל אירופה, בחלקים גדולים של אוסטרליה, הוואי ואריזונה, כאשר המשמעות היא 'תשתמש בזה או תאבד את זה' (Use it or lose it) – צריך להשתמש מקומית באנרגיה המיוצרת כי לא ניתן לקבל עליה כסף, והדרך היחידה לעמוד בזה היא הוספת אגירה. כיום, ברוב העולם, אין טעם במערכות סולאריות ללא אגירה, והירידה במחירי הסוללות תומכת בפיתוח שוק זה.

הוספת אגירה למערכת סולארית לא מהווה רק פתרון לסוגיות שנסקרו אלא שיש בה פוטנציאל להוספת ערך משמעותי, לבעלי עניין שונים, בזמנים שונים של היום והשנה. אותה סוללה שמשמשת את הבית הפרטי יכולה לשמש גם את רשתות החלוקה וגם את רשתות ההולכה - הסוללה יכולה לשמש לגיבוי, לייצוב תדר ברשת (באירופה למשל זה שוק של 2.5 מיליארד דולר בשנה שמנהלי הרשת מוציאים כדי לייצב את התדר), הפחתת חיובים על חריגה מהמכסה/מהחובה (בהתאם למנגנון Demand charges הנהוג בארה"ב, למשל), לנושאים של Energy Arbitrage, Black start ועוד<sup>14</sup>. התועלות הכספיות יכולות להסתכם באלפי דולרים בשנה לסוללה של 10 קוט"ש. עם זאת, הסוללות הרבות (האנרגיה המבוזרת) הינן אתגר למנהל המערכת והפתרונות לכך הם ממשפחת ה-Virtual Power Plants (VPP), פתרונות טכנולוגיים שמספקים למנהל המערכת תמונה אחודה של הספקים הקטנים השונים ואשר מייצגים אותם כתחנת כוח וירטואלית. ברשתות קובנציונליות, שעות מסוימות, אפילו ספורות, בהן יש מחסור בחשמל יובילו לתהליך של הרחבת / שדרוג תשתיות (הקמת תחנות כוח, קווי הולכה, תחנות משנה וכו'), אך תהליך זה יכול להימנע בזכות אותן תחנות וירטואליות – מערכת הניהול מבטיחה טעינת הסוללות לקראת שעת השיא / המחסור, וכשזאת מגיעה הסוללות מספקות לרשת את הביקוש העודף. ההשקעה של מנהל המערכת בפתרונות כאלה הינה עשירית מההשקעה בתשתיות פיזיות, וזאת בעיקר מכיוון שאת המערכות הסולאריות רוכשים הלקוחות מכספם והם מרוויחים מהן ממילא, וכך המתווה הפיננסי הנפוץ הוא תמיכה חלקית או סבסוד של המערכות תמורת שימוש בהן במשך כמה שעות בשנה – זה משתלם לשני הצדדים. פתרונות כאלה יכולים כאמור לאפשר תועלות רבות נוספות. זה אמנם נראה קצת עתידי, כי אין הרבה כאלה בעולם, אבל זה עובד. לנו יש כיום 12 VPP פרטים ברחבי העולם (קליפורניה, מסצ'וסטס ועוד), כאשר מערכות אלו יודעות להשתמש גם במטעני רכבים חשמליים כאילו הם סוללות (לא לדחוף חשמל לרשת כי את זה כלי הרכב לא מתירים, אך כן להוריד את העומס שלהם מהרשת). פיתוח הנושא הזה הינו מונע רגולציה לחלוטין – האם מותר / אסור לדחוף חשמל לרשת, מותר / אסור לקנות חשמל בתעריף עודף וכו'.

רגולציות ותקנים קיימים בעולם המאפשרים פתרונות כאלה:

- היתר לסוללות להזין אנרגיה לרשת (לא קיים בישראל).
- היתר לקיזוז אנרגיה המוזנת לרשת מאנרגיה הנצרכת מהרשת (קיים בארץ למערכות סולאריות, לא לסוללות).

<sup>14</sup> <https://rmi.org/insight/economics-battery-energy-storage/>



- עידוד ממשלתי של שחקנים לשקול פתרונות כאלה – הכי קל למנהל רשת להרחיב תשתית פיזית, כי זה מה שהוא מכיר ורגיל לעשות; ברוב המדינות נדרשת רגולציה שמחייבת בחינת פתרונות אחרים זולים יותר.
- תקנים בנושא של ממירים דואליים.
- תקנות בנושא אבטחת סייבר.

## ד"ר גדעון פרידמן - משרד האנרגיה PV + אגירה כמקור אנרגיה מתחדשת חדש

במשרד האנרגיה אנו עוסקים השנה בפרויקט אסטרטגי בנושא של אגירה וניהול אנרגיה ותחת זה אנחנו מקיימים כמה פעילויות: כרגע יש קול קורא לפרויקטי חלוצי בתחום של אגירה, ניהול אנרגיה, ייצור חשמל מקומי, גיבוי בחירום, שילוב כלי רכב חשמליים (יכול להתבצע בקמפוסים, קיבוצים, שכונות, מקלטים ציבוריים). בחודשיים הקרובים נצא בקול קורא לתכנון של מערכות שכוללות ייצור מקומי, אגירה וניהול אנרגיה והפיילוטים ליישום יתבצעו בשנה הבאה.

משרד האנרגיה מעוניין לקדם אנרגיות מתחדשות מהטעמים הבאים:

- הפחתת פליטות.
- ביזור ותמהיל אנרגיה מגוון כדי שלא נהיה תלויים במקור אנרגיה אחד.
- מהניסיון רואים שמתקני אנרגיה מתחדשת ממשיכים לספק אנרגיה גם לאחר שנסתיימה תקופת החזר ההשקעה וכך מסוגלים לספק אנרגיה במחירים נמוכים מאוד. זה לא נלקח בחשבון בתחשיבים הכלכליים של מתקנים חדשים אך זה בהחלט היבט חשוב.
- יציבות מחירי האנרגיה – כיוון שההשקעה היא הונית בעיקרה ולא תלויים במחירים של ספקים חיצוניים (איראן, סעודיה, רוסיה). הסיבה למחירי הגז הטבעי שאנו משלמים כיום היא שהעדיפו לקבוע את המחיר למדד האמריקאי ולא לקחת את הסיכון של תנודות בלתי צפויות בשוק. השקט הנפשי הזה עלה לנו הרבה כסף, אך את זה אנחנו יודעים רק בדיעבד.

לצד היתרונות ישנם גם חסרונות לאנרגיות מתחדשות:

- חוסר יציבות באספקה.
- נדרש גיבוי – למשל בגרמניה נמצא כי היצע המקסימום היומי עומד על 530 ג'יגה-ואט-שעה לעומת היצע המינימום שהינו 30 ג'יגה-ואט-שעה בלבד. יש חוסר איזון בין העונות השונות. בישראל מדובר על אספקה של כ-50% בחורף לעומת הקיץ.

אנרגיה סולארית היא מקור אנרגיה טוב אך לא יציב, והוא לא תמיד מספק לנו את האנרגיה במועד שאנחנו צריכים (שיא ביקוש בשעות הערב). לגבי אגירה - בעבר חשבו שאגירה מחייבת טעינה וככזו לא מהווה מקור אנרגיה בפני עצמו, ואם הטעינה נעשית באמצעות אנרגיה פוסילית (זה לפני פרויקט האגירה השאובה) אז אין בזה תועלת. אבל השילוב של מקור אנרגיה סולארי עם אגירה מהווה למעשה מקור אנרגיה מתחדשת חדש, שנותן מענה לחסרונות שצויינו.

האפשרות לייצר את החשמל באופן מקומי, בסמוך לאגירה, פותחת דלת להמון אפליקציות:

- **אגירה במקום בניית פיקרים חדשים:** בהשוואה שמציגה חברת בלומברג<sup>15</sup> - אגירה של 4 שעות ביום בסוללות שצמודות לסולארי או תחנות רוח, הינה תחרותית לפיקרים<sup>16</sup> שעובדים זמן דומה. בתחנות קונבנציונליות המחיר לקוט"ש יורד ככל שהשימוש במתקן עולה, אך אנחנו רוצים להימנע מהקמה של תחנות שעובדות רק מספר שעות בשנה, ושילוב של סולארי עם אגירה יכול לתת לכך את המענה.
- **אגירת חום:** חברת ברנמילר הציעה מערכת שקולטת חשמל סולארי ואוגרת את האנרגיה בצורה של חום (במקום בסוללה). המערכת ממירה את החשמל לחום ולאחר מכן טורבינה קיטורית הופכת את החום חזרה לחשמל. מדובר על הפסד של כשני שלישי מהאנרגיה, אך ההפסד הוא פחות משמעותי כי האנרגיה הזאת מאוד זולה. תחנה זו פועלת מתי שמנהל המערכת רוצה והוא רואה לפניו רק טורבינה קיטורית שאינה סובלת מאי היציבות של מערכת סולארית. כשצריך חשמל בערב, משתמשים באגירה וכאשר יש ימים בלי שמש ממלאים את האגירה מטורבינת הקיטור, כך שהמערכת תמיד זמינה ובחישוב שנתי מדובר על 85% אנרגיה מתחדשת. העלות של זה כיום בקנה מידה קטן הוא כ-35 אגורות לקוט"ש, שזה פחות מכל הפיקרים של חברת החשמל שעובדים כיום ומספקים חשמל בעלות של מעל 40 אגורות לקוט"ש. המחיר יכול לרדת כיום לסביב 27 אגורות אם מדובר על קנה מידה רחב יותר ובוודאי בעוד כמה שנים, עם פיתוחים נוספים.
- **אגירה באמצעות מתקני התפלה** – אם תחנת ייצור החשמל הסולארית נמצאת בסמוך למתקן ההתפלה ומייצרת חשמל בעלות של 8-10 אגורות לקוט"ש, ניתן להוריד את עלות ההתפלה ב-10-20%, כיוון שמרכיב החשמל מהווה 25-30% מהעלויות. את המים ניתן גם לאגור במאגרים מקומיים ולספק בעת הצורך.
- **מפעל לייצור אלומיניום** – חשבו מה לעשות עם הגז הטבעי ועלה רעיון להקים מפעל לייצור אלומיניום שצורך הרבה מאוד אנרגיה. האם אפשר להתחרות עם חום בתעשייה באמצעות חשמל סולארי? כיום עדיין לא, אך ההפרש במחירים כבר לא גדול.
- **אגירה במימן** – הפקת מימן ממים באמצעות חשמל סולארי, אגירת המימן ושימוש כדלק לתחבורה או לייצור חשמל בתחנות כוח גדולות. בהנחה שקוט"ש סולארי עולה שלושה סנט, העלות של כל התהליך הזה היא 20 סנט. זה עדיין יקר אך לא בלתי סביר.

הסיפור של ייצור במקום האגירה, בעלויות אנרגיה נמוכות שלא חשבנו עליהן בעבר, משנה את התמונה. יש המון דברים שאפשר לעשות בזכות זה שהאנרגיה כל כך זולה, ורבים מהם משלבים אגירה באופן שמאזן את המערכת ומאפשר לה להיות יותר יעילה. אגירה הינה הכרחית לצורך חדירה מאסיבית של אנרגיות מתחדשות.

## ד"ר מרים לב-און - The Levon Group LLC

### Recent Developments of PV Power Systems with Storage in the U.S.

מערכות סולאריות המשלבות אגירה מהוות מערכות סימביוטיות, בהן התועלת גדולה מהתועלת של כל רכיב בנפרד. כדי להגביר את השימוש בתחנות כוח סולאריות נדרש שימוש נרחב באגירה וחברות שעוסקות בתחום הסולארי רואות בשילוב של אגירה הזדמנות לצמיחה עסקית. נדרשת מדיניות שתאפשר את שילוב האגירה.

<sup>15</sup> <https://about.bnef.com/>

<sup>16</sup> מתקן ייצור חשמל לאספקה במצבים של שיא ביקוש.

בארה"ב קצב הגידול של הקמת מתקנים של אנרגיה מתחדשת גבוה יותר מקצב הגידול של תחנות פחמיות. בין היתר בשל הירידה הדרמטית בעלויות האנרגיות המתחדשות והאגירה והיכולת של השילוב ביניהם להתמודד עם סוגיית ביקושי השיא. המדינות בארה"ב ואיגוד חברות החשמל הסולארי החליטו על יעד לאומי של 20% אנרגיה סולארית עד 2030, אך הגעה ליעד מחייבת שילוב אגירה, ויש הרבה אפשרויות לחיסכון בשילוב זה.

מחקר השוואתי שעשו ב-NREL (National Renewable Energy Laboratory) בשנת 2018<sup>17</sup> בחן מודלים שונים למערכות סולאריות עם אגירה - אגירה מחוברת לרשת החשמל או אגירה שמקושרת גם לרשת וגם למערכת הסולארית, ולזמנים שונים של אגירה. נמצא שהמחיר אינו לינארי - ככל שזמן האגירה יורד, העלויות גבוהות יותר<sup>18</sup>, כך שאגירה של חצי שעה תעלה, לכל קוט"ש, יותר מכפול מאגירה של ארבע שעות. בנוסף, סך העלות של כל מערכת בנפרד (סולארי ואגירה) גבוהה מהקמה של שתי המערכות בסמיכות, גם אם היזם מקים רק את אחת המערכות וגם אם היזם מקים את שתי המערכות אך באתרים נפרדים<sup>19</sup>.

מחקר נוסף של NREL<sup>20</sup> בדק את יחס התועלת-עלות של מתקנים שונים בשיעורי חדירה שונים של מערכות סולאריות לשוק. המחקר מראה שבמעבר מ-15% ל-24% אנרגיה סולארית, יחס התועלת-עלות של כל המערכות הסולאריות יורד, אך לגבי מערכות סולאריות ללא אגירה היחס יורד בצורה דרמטית.

ההשפעה של התהליכים האלה על השוק בארה"ב:

- מינהל האנרגיה הפדראלי בארה"ב, שאחראי על העלויות של המתקנים הפדראליים מעודד מאוד את השחקנים לבדוק את הנושא של מערכות סולאריות בשילוב אגירה בבניינים פדראליים וקמפוסים, זאת בהתאם לצווים נשיאותיים (של בוש ואובמה) שהוצאו בעבר וקוראים להפחתת פליטות וצריכת החשמל.
- בינואר 2019 התקבלה החלטה על ידי ה-California Public Utility Commission (CPUC) בקליפורניה, המאפשרת גם למתקנים המשלבים מערכות סולאריות ואגירה להנות מהטבה של Net Energy Metering: בעלי המתקנים המשולבים יכולים להזין אנרגיה לרשת ולקבל קרדיט על כולה, הם גם יכולים להגדיל את גודל המתקנים מעל 1 מגה-ואט ויצרנים של מערכות אגירה וממירים יכולים לפתח מוצרים המוכנים לשימוש בקליפורניה, ויש סיבה טובה להאמין שהמודל יאומץ גם במדינות אחרות.
- בפלורידה מתכננים לבנות את מתקן האגירה הגדול בעולם והוא יוזן משדה סולארי סמוך.

על פי בלומברג<sup>21</sup> מחירי הסוללות ירדו בצורה חדה – מעלות של 800 דולר למגה-ואט-שעה בשנת 2013 לרמה של 300 דולר למגה-ואט-שעה ב-2018, וגם בשנה האחרונה המגמה נמשכת.

<sup>17</sup> <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/71714.pdf>

<sup>18</sup> מחיר הסוללה הינו קבוע אך העלויות האחרות (כוח אדם, ציוד, מיסים ועוד) גבוהות יותר, כך שמחיר הסוללה מהווה כ-50% מהעלויות במערכת של 4 שעות, לעומת 25% מהעלויות במערכת של חצי שעה.  
<sup>19</sup> עלות מערכת סולארית של 100 מגה-ואט ומערכת אגירה של 60 מגה-ואט (ל-4 שעות אגירה) היא כ-200 מיליון דולר, ושילוב המערכות יכול לחסוך כ-7-8%.

<sup>20</sup> <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/68737.pdf>

<sup>21</sup> <https://about.bnef.com/>

## עמי אלעזרי - מילניום אלקטריק בע"מ

### אגירת אנרגיה מהשמש בסוללות LiFePo4 ליתיום-פוספט ל-25 שנה, 6,000-10,000 מחזורי פריקה טעינה - המהפכה הבאה בשוק האנרגיה העולמי: רכבים, בתים ותחנות כוח

סוללות יהוו את מקור האנרגיה הזול בעולם לרכבים, בתים ותחנות כוח<sup>22</sup>. בתחנות כוח פוטו-וולטאיות גדולות, מעל מגה-ואט, המחיר לקוט"ש מיוצר הינו סביב 3-4 סנט, והשילוב של מערכות סולאריות עם אגירה מאפשר לרדת גם למחיר של 2 סנט לקוט"ש. בשבוע שעבר EDF זכו במכרז לתחנה באשלים במחיר של 8.6 אגורות לקוט"ש, והכריזו שהם ישקיעו 10 מיליארד אירו בסוללות לגיבוי תחנות כוח בעשר השנים הבאות. אי לכך, לדעתי, צריך להפסיק להשקיע בייצור החשמל התרמו-סולארי, דוגמת פרויקט אשלים, ולעבור לפוטו-וולטאי, כי תרמו-סולארי יקר פי עשר, ומחייב שטח גדול פי שלוש. הפיתוחים האחרונים בתחום הסוללות קרו רק בשנים האחרונות (2017-2018) עת פותחו סוללות ליתיום-יון-פוספט בעלות 6,000 מחזורי פריקה טעינה ויותר, כלומר, אגירת אנרגיה ל-25 שנה, והצפי הוא שזה יהיה נפוץ אפילו יותר ממערכות סולאריות<sup>23</sup>, זה יהיה בכל מקום - בבתים, בכלי הרכב, במפעלים וכגיבוי לתחנות כוח. אני צופה שהסוללות יהוו בסופו של תהליך מקור אנרגיה שממנו תזון כל רשת החשמל והן יטענו ויוזנו ממקורות שונים – סולארי, רוח, הידרו ואף מהרשת בשעות הלילה כשהחשמל זול.

המנוע העולמי בשלב הראשון של פיתוח הסוללות החדשות הללו הוא שוק כלי הרכב החשמליים, כאשר האירוע המשמעותי ביותר אירע לפני כשנה וחצי כאשר אילון מאסק מטסלה התחייב להקים תחנת אגירה של 100 מגה-ואט תוך מאה ימים כגיבוי לרשת האוסטרלית, והצליח. התחזיות הן שבשנת 2030 שוק האגירה בסוללות רכב יהיה בהיקף דומה לשוק האגירה באפליקציות אחרות<sup>24</sup>, והמגמה היא ירידת האנרגיה הפוסילית ועליית האנרגיות המתחדשות והאגירה.

לפי הבנק העולמי, במדינות רבות בעולם, מדינות שטופות שמש, יש כדאיות גבוהה לשימוש בשילוב של מערכות סולאריות ואגירה והחזר ההשקעה של מתקן כזה הוא 4-5 שנים<sup>25</sup>. זה מראה לנו את הכיוון וישראל צריכה להיות שם. מודל מוצלח אחר מדבר על שילוב של מערכות סולאריות עם אגירה וטורבינות גז, כאשר טורבינת הגז מהווה גיבוי במתקן כזה. אם לוקחים בחשבון עלויות חיצוניות של פליטות גזי חממה, מתקנים כאלו זולים יותר ממתקנים מתקדמים המופעלים באמצעות פחם או גז, והם צפויים להיות אף זולים יותר ב-2030. במידה והרגולציה מתירה זאת (יש לציין שבארה"ב הרגולטור כבר התיר שימוש בסוללות כמקור אנרגיה לרשת ובישראל יצא שימוע של רשות החשמל בדיוק לנושא הזה), קנייה ואגירה של חשמל סולארי זול ביום ומכירתו בשעות בהן החשמל יקר (לעיתים פי 4-6) היא כדאית מאוד. נוסף על כך, כיוון שהחזר ההשקעה הינו של שנים בודדות, אך המתקנים פועלים 25 שנה ויותר, המשמעות היא שרוב השנים החשמל הוא בחינם.

**המודלים הכלכליים של מערכות משולבות** - הרעיון שאני מציג הינו כדלקמן: הקמת תחנה העובדת על טורבינת גז אבל לא כמקור כוח עיקרי אלא רק כגיבוי - 10% בלבד מגודל המערכת לפי תחשיבי מעבדות האנרגיה הלאומיות של ארה"ב. המרכיב העיקרי יהיה שדה פוטו-וולטאי עם גיבוי בנק סוללות ל-25 שנה, שיאפשר מתן

<sup>22</sup> <https://www.lazard.com/>

<sup>23</sup> <http://raywills.net/rtwtechadopt.html>

<sup>24</sup> ש.מ. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/30349/110879-BRI-EM-Compass-Note-23-Energy-Storage-11-16-PUBLIC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

מענה 24/7. לאחרונה, מדינות מתקדמות כמו ארה"ב, גרמניה, הולנד ואוסטרליה אימצו את המודל הכלכלי הזה שהולך להפוך את בנקי הסוללות למקור אנרגיה מודולרי לכל גודל של צרכן, לא רק כגיבוי. לאחרונה (יוני 2019), שתי רשויות חשמל אמריקאיות בניו מקסיקו וטנסי מקימות תחנות כאלו בהקפים של 200 ו-400 מגה-ואט, בהתאמה, שיחליפו תחנות כוח פחמיות.

**מרכיבי המערכת** - טורבינת גז של 2-0.5 מגה-ואט ואולי פחות, שדה סולארי של 5 מגה-ואט ובנק סוללות של 5 מגה-ואט - השילוב הזה, גם אם יעלה 10% יותר בהשקעה הראשונית, יחזיר את עצמו, בכ-4 שנים, כיוון שהמרכיבים הפוטו-וולטאי והסוללות מחזירים עצמם ב-4-5 שנים ואז החשמל המיוצר מהמערכת יהיה בעלות אפסית כמעט ועם רווח עצום ל-20 שנה נוספות. כמו כן, בהתאם לפרסום של רשות החשמל סביר שניתן יהיה לקבל סובסידיות מהממשלה, זו סובסידיה לאנרגיה ירוקה ובנוסף בסבסוד עלות ההקמה ובתעריפי מכירה לרשת, ובעיקר שניתן יהיה לקנות חשמל זול בלילה מחברת החשמל, לאגור בבנק הסוללות ולמכור אותו במחיר פי ארבע בשעות השיא (בכל העולם ההפרש בין חשמל שיא לחשמל שפל הוא פי 4-6). וכן גם למטרות של: Peak Shaving, Load Levelling, Peak Demand Time.

**הטכנולוגיה** - לסוללות ליתיום-יון שקיימות בטלפונים, למשל, ישנם 700 מחזורי פריקה-טעינה, כאשר המשמעות היא שצריך להחליפן כעבור שנתיים בערך. המהפכה התחילה כאשר החליטו לצפות את הקתודה והאנודה בכל מיני חומרים<sup>26</sup> שמונעים הצטברות של פסולת אלקטרונית עליהן, ובכך גם מגדילים את צפיפות האנרגיה וגם מאפשרים יותר מחזורי פריקה-טעינה והארכת חיי הסוללה. דבר חשוב נוסף לאורך חיי הסוללה הוא במה עטופה הסוללה (עטיפת פלסטיק של סוללה ביתית תאפשר אורך חיים של כשלוש שנים, בעוד שסוללה של תחנת כוח עטופה באלומיניום או מתכת אחרת ומחזיקה 25 שנה). ישנן מספר שחקניות גדולות מוכרות בשוק הסוללות – סוני, סמסונג, פאנסוניק ו-LG, אך למעלה מ-25% מהשוק נשלט על ידי יצרניות סיניות פחות מוכרות. גם אין בעיה של מקור חומר הגלם ליתיום, שכן לאור הביקוש החלו להגדיל ולהוסיף מכרות ליתיום שלא היה בו צורך קודם לפיתוח דור הסוללות לכלי רכב. לפני חמש שנים רק 2% ממכרות הליתיום היו בסין, והיום מדובר כבר על 20-25%; גם באוסטרליה מרוכזים מכרות רבים ליתיום. הסינים זיהו שצריך לכרות ליתיום כי זה חומר הגלם שממנו בנוי העתיד שלנו. מתקן אגירה של בנק סוללות מורכב למעשה מהרבה יחידות, לדוגמא, בקונטיינר של 40 רגל אפשר לשים 4 מגה-ואט-שעה אגירה, ומכאן שמתקן של 100 מגה-ואט-שעה יורכב מ-25 קונטיינרים של 40 רגל, הכוללים גם מערכות קירור והמרה. המתח (DC) בתוך הסוללה נע בין 350-890 וולט, יחידת ההשנאה נבנית בהתאם למאפייני הרשת.

**השוואה טכנו כלכלית** - פרויקט סוללות לאגירה עם טעינה פוטו-וולטאית לעומת פרויקט של אגירה שאובה:

- עלות לקוט"ש – כעשירית בפרויקט סוללות
- זמן הקמה – כ-3 חודשים לעומת כמה שנים (5-7)
- בפרויקט סוללות עלויות אחזקה שוליות (פחות מאחוז אחד) לעומת 15% באגירה שאובה
- לסוללות אין הגבלת גודל ומקום והן מודולריות

<sup>26</sup> Types of batteries: Lithium iron phosphate (LFP), Lithium nickel manganese cobalt oxide (NMC), Lithium Cobalt Oxide (LCO).

פרויקטים שלנו עם סוללות ליתיום-יון-פוספט מותקנים כבר בגאנה, בסין ובטיבט, ומאפשרים גידול בחממות במשך כל השנה (לעומת 7 חודשים ללא המערכת) גם בטמפרטורה של 20 מעלות מתחת לאפס. מדובר גם על סוללות בשילוב קולטים סולאריים שנקראים Photovoltaic thermal hybrid solar collector (PV/T) – אשר מייצרים גם חשמל וגם מים חמים בו זמנית – המים מקררים את התאים הסולאריים ועל ידי כך מעלים את נצילות המערכת בכ-30% ולאחר מכן מוזרמים כמים חמים לתוך האדמה להשקיית וחימום השורשים של הצמחים באדמה קפואה בחורף באופן שמגדיל את פרויון הייצור משמעותית. סוללות ליתיום-פוספט מאפשרות עבודה עצמאית ל-24 שעות עם אגירת אנרגיה עד שבוע ימים ויכולות לעבוד 6,000 מחזורי פריקה טעינה יומיים - כלומר 20-25 שנה.

### פרופ' דורון אורבך - אוניברסיטת בר-אילן

#### The challenges of energy storage & conversion: electro-mobility, high energy density power sources and grid applications

הנושא של אנרגיה אלקטרו-כימית באקדמיה מאורגן כיום בישראל תחת ה-Israel National Research center for Electrochemical propulsion (INREP), שאני מוביל אותו, והוא כולל 24 קבוצות מחקר בשבע אוניברסיטאות (בר אילן, הטכניון, תל אביב, בן גוריון, מכון ויצמן, אריאל והעברית). הקבוצות עובדות בצורה עקבית, כולל שיתופי פעולה בין הקבוצות, וכן עם גורמי חוץ והתעשייה; זה דבר ללא תקדים בארץ. הרעיון להקמת המרכז נבע מהחזון של מדינת ישראל להסרת התלות העולמית בנפט, וכך המימון מגיע ממנהלת תחליפי דלקים במשרד ראש הממשלה, כמו גם מהמל"ג-ות"ת. הנושאים בהם עוסק המרכז:

- מדע בסיסי שקשור לאנרגיה, חומרים, אלקטרוכימיה, כימיה אורגנית, אנאורגנית, פיזיקלית ועוד.
- חומרים קתודיים לסוללות ליתיום-יון עם צפיפות האנרגיה הגבוהה ביותר.
- מערכות ייחודיות – ליתיום-חמצן, ליתיום-גופרתי, סודיום-יון, מטאל-אוויר.
- סוגים שונים של מערכות אלקטרוליטיות.
- קבלי-על מתקדמים.
- תאי דלק (אנחנו הגוף היחידי בעולם שבו הנושא של סוללות ותאי דלק נמצאים תחת אותה מטרייה, כי אנחנו מאמינים שהפתרון לתחבורה חשמלית יבוא בסופו של דבר משילוב בין שניהם).

בתחום האנרגיה, האקדמיה מאוד מחוברת לצד הפרקטי ואנחנו רואים לנגד עינינו שני אתגרים חשובים:

- אלקטרו-מוביליות: כלי רכב חשמליים אך גם קורקינטים ואופניים חשמליים (מיקרו-מוביליטי).
- אגירת אנרגיה, כתמיכה באנרגיות מתחדשות.

**תחבורה חשמלית** עדיפה על פני ביו-דלקים, שכן האחרונים צורכים משאבים רבים של קרקע ומים, והיא גם עדיפה על כלי רכב עם מנוע בעירה פנימית שהיעילות הכוללת שלהם היא עד 25%, ועל אף שעוד נעשים ניסיונות לשפר זאת, העולם יותר ויותר מבין שהעתיד הוא בתחבורה חשמלית. גם אם החשמל מיוצר באמצעות דלקים פוסיליים, עדיין עדיפה פליטת מזהמים בגובה רב מאשר בגובה צינור הפליטה, וכמובן שהוספה של אנרגיה מתחדשת תומכת במעבר להנעה חשמלית וגם חוסכת בפליטות גזי החממה. היעילות הכוללת של

תחבורה חשמלית הינה מעל 40% (כולל יעילות הפקת החשמל וכלי הרכב), זאת בתנאי שאין הפסדים גדולים בהולכה.

אנחנו לא יכולים לשנות מהותית את מבנה כלי הרכב, ומכאן שניתן להתקין ברכב סטנדרטי (לאחר הוצאה של הרכיבים הקשורים לפעולתו של מנוע בעירה פנימית) סוללה שמשקלה 300-500 ק"ג (250-150 ליטר), והשאלה היא כמה אנרגיה ניתן להפיק במגבלה הזו. סוללות מורכבות מתאים קטנים המחוברים בטור או במקביל, והחלוקה לתאים חשובה לצורך פיזור החום ואלמנטים נוספים שקשורים לבטיחות, ולכן האלמנט המשמעותי הוא ההרכב הכימי של הסוללה. כדי לנסוע 500 ק"מ בין טעינה לטעינה צריך כ-80 קוט"ש ואת זה ניתן להכניס בנפח הקיים עם הטכנולוגיה של היום, כלומר זה כבר לא חלום והמהפכה יצאה לדרך.

המבנה הבסיסי של סוללת ליתיום-יון הינו שכבתי והמטרה היא לקלוט יוני ליתיום בלי לשנות את המבנה. הליתיום מוכל בתוך הקתודה והחומר הינו נייטרלי ולא מסוכן. בשלב הראשון טוענים את הסוללה ביוני ליתיום עד רמה של כ-4 וולט ואז בתהליך שנקרא 'כסא דנדה' יוני הליתיום עוברים מצד לצד, באמצעות תמיסה שהיא גורם מעביר. זה כמעט נס שהמערכת הזאת עובדת, יש הרבה אלמנטים שצריכים לעבוד בצורה מסונכרנת, אין בשום שלב שיווי משקל תרמודינמי, אלו מערכות נפיצות ומסוכנות. הקבוצה שלנו תרמה רבות להבנת התהליכים שקורים בסוללה, אך כמובן שהתחום ממשיך להתפתח. כיוון שהגורם המגביל הוא הקתודות, הרי שניתן להמשיך עם אנודה של גרפיט והחכמה היא בהרכב הקתודה. הקתודה מורכבת מליתיום, מתכות מעבר (ניקל-קובלט-מנגן) וחמצן, והיחס בין מתכות המעבר הוא המשמעותי, ככל שמעלים את כמות הניקל (האתגר הוא 100% ניקל) מעלים גם את צפיפות המטען, וזאת מבלי להעלות את המתח, גם בזמן טעינה. כיום עדיין מתמודדים עם תופעות של חוסר יציבות, אך גם אלה בעיות פתירות. מכאן שהמסר הוא שמבחינה טכנולוגית יש לנו מה להציע לתעשיית הרכב, ואכן, חלק מיצרני כלי הרכב בונים היום במקביל תעשיית סוללות.

**אגירת אנרגיה** בקנה מידה גדול נועדה לאפשר חדירה נרחבת של אנרגיות מתחדשות, שהמעניינות ביותר הן אנרגיות רוח ושמש, כאשר הפוטנציאל של אנרגיית השמש הוא כמעט בלתי מוגבל (הרבה יותר מהצריכה). אנו חושבים שאגירה זו צריכה להתבסס על יסודות אחרים שהינם זמינים, ולא להתחרות עם המשאבים המשמשים את תעשיית הרכב החשמלי, כי אם המהפכה תצליח, מהר מאוד נתקל במחסור של ליתיום, ניקל ועוד. מכאן שהיסודות הרלוונטיים הם: עופרת, מנגן, פחמן, ברזל, חמצן.

בעולם יש בין חצי מיליארד למיליארד אנשים שאין להם סיכוי להתחבר לרשת החשמל בעשור הקרוב, ומכאן שהצורך במערכות אנרגיה מודולריות הוא עצום וישראל בהחלט יכולה לפתח תעשייה בנושא. החלום של קהילת האלקטרוכימיה בארץ הוא להגיע למצב שניתן לייצר יחידות אגירה אוטונומיות, שיאפשרו, בשילוב עם פנלים סולאריים, ייצור חשמל במנותק מהרשת. בתחום האלקטרוניקה אנחנו במצב טוב, אך כאשר מגיעים לנושא של הנדסה כימית אי-הוודאות עולה ולכן הנושא של אגירה מתפתח יותר לאט. אנחנו עובדים על מספר מערכות אגירה אלקטרוכימיות: מערכות זרימה, סוללות עופרת-חומצה, נתרן-יון, נתרן-גופרית, מגנזיום נטענת וקבלי על. כדי להשתמש במערכות ליתיום-יון נעדיף להחליף את הגרפיט שעובדת במתח נמוך מדי ויוצרת בעיות תרמודינמיות עם אלקטרודה של ליתיום-טיטניום-אוקסיד ואליה אנחנו יכולים לחבר מגוון קתודות אשר יוצרות מערכות שבהן בזבז האנרגיה בין פריקה לטעינה הוא קטן יותר והן יכולות לעבוד הרבה מאוד זמן (אלפי מחזורים), אך כאמור, זה יכול להתאים רק בשלב זה שמהפכת הרכב החשמלי היא עוד בתחילתה.

סוללות עופרת-חומצה יכולות להתאים לנושא של אגירה, אך צריך להגדיל את המסה האקטיבית שלהן, ואנחנו מראים שבעזרת ננו-צינורות פחמן ניתן לשפר את הביצועים בצורה ניכרת (עד פי 3-5), וזה גם תוקף בעזרת שיתוף פעולה עם התעשייה. גם קבלי על הן אפשרות טובה.

יש בישראל פעילות עניפה מאוד בנושא של אנרגיה, עם קהילה אלקטרוכימית מאורגנת ומפותחת בהרבה לגודלה היחסי של המדינה, ויש היום מספיק ידע ופוטנציאל לפיתוח תעשיות אנרגיה ישראליות.



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

- מהי עלות ריאלית של מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה בארץ ומהו הצפי לעתיד?
- מהי הכלכליות של מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה מנקודת מבטו של היזם?
- איזו רגולציה מטעם המדינה דרושה למערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה?
- איזו מדיניות ראוי לאמץ מבחינת הקצאת קרקע, בעיקר חקלאית?
- מה יש לעשות בתחום התקינה של מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה?
- מה ידוע על תוכניות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה בעולם ומה ניתן ללמוד מהן לגבי ישראל?
- לאור המשאבים הרבים המושקעים במו"פ פוטו-וולטאי משולב אגירה במדינות מסוימות בעולם, האם יש לעודד מו"פ כזה בישראל? האם יש לישראל יתרון יחסי המצדיק זאת?
- איך יתרמו מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה לביטחון האנרגטי של ישראל?

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

**ד"ר אברהם ארביב:** כבר לפני שני עשורים היה ברור שבדומה לטכנולוגיות אחרות גם עלות הטכנולוגיה של מערכות סולאריות תרד, אך היה גם ידוע שכדי להגדיל את שיעורי החדירה שלה נדרשת אגירה. לצערי לא שמעתי היום בשורה בנושא מחירי אגירת החשמל. הטכנולוגיות שהזכירו קיימות כבר שנים. האם אין פריצות דרך שיאפשרו הוזלה?

**ליאור הנדלסמן:** בעיניי, ההתפתחות של אגירה היא אנלוגית להתפתחות של פנלים סולאריים. לא קרה בתחום של פנלים סולאריים שום דבר מהפכני בעשר שנים האחרונות, אך בכל זאת, אם בעבר היא הייתה יקרה בהרבה ממקורות אנרגיה אחרים, הרי שכיום היא כמעט הכי זולה, אולי פחות מרוח וגרעין. ב-2006 היה רק ג'יגה-ואט אחד של מערכות פוטו-וולטאיות מותקן בכל העולם, וכיום מותקנים יותר מ-80 ג'יגה-ואט בשנה אחת. לגבי סוללות, האנלוגיה היא כמעט מושלמת גם בהיבט ההתפתחות הטכנולוגית, גם בהיבט ההתפתחות העסקית וגם בקצב הגידול. תאים של סוללות ליתיום-יון<sup>27</sup> נמכרים כיום ב-100 דולר לקוט"ש ולפני שלוש שנים הם נמכרו ב-600, מדובר על ירידה של פי שש בשלוש שנים והירידה לא עוצרת כרגע, היא גם לא מאיטה אלא דווקא מאיצה. זה לא מתבטא בשוק כיוון שבשוק יש מחסור - כל הסוללות המיוצרות נמכרות אז אפשר למכור ביוקר. ב-2008 היה מחסור של סיליקון בעולם ואז תאים סולאריים עלו הרבה, פשוט כי היה מחסור במכרות סיליקון; כיום כבר אין מחסור והנושא לא מהווה בעיה (לגבי ליתיום יש טענה שאולי יגמר, אני לא בטוח שאני מסכים איתה). גם הספק שלנו לא מוכן לרדת מתחת למחיר מסוים, פשוט כי הוא יודע שאין לנו אופציה אחרת; מצד שני חברת ענק, כמו BMW, שהיא לקוח עצום לשנים רבות, מקבלת מחירים שונים לגמרי (שמייצגים עלות אמיתית).

<sup>27</sup> סוללות מורכבות מתאים, אך המוצר שנמכר בשוק, הסוללה, הוא למעשה מארז תאים או מארז תאים עם Battery Management System (BMS). יצרני הסוללות מעדיפים לא למכור תאים כי הם לא יודעים מה הלקוח יעשה איתם ואם יהיו לכך השלכות בטיחותיות, למשל, ולכן תאים ימכרו רק לחברות ענק ולכן גם המחיר שלהם פחות ידוע.

**עידן ברק:** אורמת אינה יצרנית של סוללות או ציוד אחר, אלא קונה ציוד, מקימה ומפעילה של תחנות אגירה. מהניסיון שלנו - עלות כוללת של פרויקטים שמוקמים כיום הינה עשרות אחוזים פחות מפרויקטים דומים שהוקמו לפני שנה-שנתיים. התחרות עובדת ומתקדמת עם השנים.

**ליאור הנדלסמן:** בתחילת 2019 נפגשתי עם המנכ"ל של הגוף שמייצר את הסוללות ב-LG והוא סיפר בגאווה שיש לו יכולת ייצור של 60 ג'יגה-ואט-שעה וכל הייצור המיועד של 2019 מכור מראש. בסוף השנה כבר יהיה להם 100 ג'יגה-ואט-שעה ולדבריהם גם היקף זה כבר מכור. המחיר ירד בשנה ב-30%, זה אירוע שוק בלבד. כיוון שיש מחסור, הלקוחות לא רואים את כל ירידת המחיר.

**איתן פרנס:** בלומברג מפרסמים נתונים של עלויות והם מתבססים על עסקאות בעולם הרכב וכן מתייחסים למספר קווי הייצור שנבנים, וכרגע בתחזיות שלהם נקודת השוויון בעלויות של כלי רכב בעלי מנוע בעירה פנימית לכלי רכב חשמליים צפויה ב-2024 (עדכון מתחזית קודמת שצפתה שזה יקרה רק ב-2025).

רגולציה מעודדת אגירה – בארגון שלנו אנחנו עוסקים ביישום בישראל וצריך לראות איך פותרים את הבעיות בבית. במדינת ישראל נעשה הכל כנגד סוגיית אגירת החשמל, כרגע אף אחד לא רוצה שיאגרו פה חשמל, הנושא לא מוסדר באמות מידה של רשות החשמל (מינהל החשמל במשרד האנרגיה מעכב את אסדרת הנושא במשך שנתיים), כך שמי ששם סוללה בחצר הבית או העסק מסתכן בביצוע פעילות לא חוקית. הנושא אמור להיות מוסדר עד סוף השנה ואנחנו מחכים לזה. באופן רחב יותר, המדיניות של רשות החשמל במשק החשמל לא מעודדת בכלל אגירת חשמל או התמודדות עם סוגיית האנרגיה ברמה המקומית של הצרכן - כיוון שאין תמריצים לשימוש יעיל, או קנסות לשימוש לא יעיל, בהתאם לצרכי רשת החשמל (בדומה למשל למנגנון Demand charge). גם אין תמריצים כלכליים לפיתוח נושא האגירה, הצרכן לא מתמודד עם עודפי הייצור שלו. בישראל אנחנו הולכים נגד הזרם ומאשרים אסדרות FIT בניגוד למגמה בעולם. בישראל אישרו כמויות גדולות של תעריפי הזנה לגגות סולאריים, וזה אמנם טוב מאוד לאנרגיה הסולארית, אך זה לא מעודד אגירה ולא מעודד אחריות אנרגטית של צרכני חשמל להתמודד עם שאלות האנרגיה באופן מקומי. מדיניות רשת החשמל, שמובילה רשות החשמל, לא תואמת את התפתחות נושא האגירה. זה עוד חמור יותר, כי המודל של משק החשמל בארץ בשנים הקרובות, ואנחנו לא יודעים מתי זה ישתנה, הוא של קונה יחיד. הרשות לא מעודדת סחר בין צרכנים, העברה של עודפים מצרכן לצרכן, להיפך, הרשות קבעה כלל שכל החשמל נמכר לרשת וזה לא מעודד יוזמות וטכנולוגיות של סחר בחשמל, ולא מאפשר שוק משוכלל.

מחזור סוללות – אנחנו רואים את העתיד של שוק החשמל בשימוש חוזר בסוללות, אנחנו רואים צעדים ראשונים שנעשים בכיוון בחברות שעוסקות בזה. בתחבורה חשמלית (ולדעתנו אוטובוסים חשמליים אף יכנסו מהר מהצפוי), מחליפים את הסוללות לאחר שאיבדו 20-30% מהתאים, וכך צפוי בקרוב מקור גדול של סוללות משומשות. אמנם הטכנולוגיה למחזור הסוללות עדיין מוגבלת, אך בכל מקרה אם המהפכה החשמלית תלך בכיוון הצפוי, יהיו פה כמויות עצומות של סוללות משומשות, והעולם יצטרך להתמודד עם בעיה. והפתרון, אני מקווה, יזין את שוק החשמל; יש לכך דוגמאות ראשונות בעולם, כמו Amsterdam Arena בה הקימו מערכת אגירה בהספק של 3 מגה-ואט שרובה מורכבת מסוללות משומשות של רכבי ניסאן לייף<sup>28</sup>.

<sup>28</sup> <https://www.johancruiffarena.nl/default-showon-page/amsterdam-arena-more-energy-efficient-with-battery-storage-.htm>

הכלכלה של פריקת סוללות לרשת והשימושים הנוספים תלויה ביצרנים, עד כמה הם יהיו מוכנים לתת אחריות למוצרים, כיוון שמימון של פרויקטי אנרגיה תלוי מאוד באחריות היצרן. פריקת סוללה לרשת הרי מרעה את מצבה, מקצרת את חייה ומעניין לשמוע איך אתם חושבים שהשוק יתגבר על זה.

**עמי אלעזרי:** חברת הסוללות שאני עובד איתה נותנת אחריות של 20 שנה ובנוסף ביטוח של חברה גרמנית ל-20 שנה. כלומר, הנושא הזה בעניין הסוללות והפנלים הסולאריים הוא פתיר ופתור.

רגולציה – הדברים שאיתן פרנס הביא נכונים, ודיברתי עם רשות החשמל והצעתי להם שיכניסו את הסוללות לרגולציה של מונה נטו ששם כבר כתוב שיש אפשרות לאגור שנתיים חשמל מיוצר סולארית שלא הוזרם לרשת או שיעתיקו את הפורמט של אגירה שאובה. יש לאשר מכירת חשמל לרשת ממערכת אגירת אנרגיה בסוללות כמו באגירה שאובה ובמערכות פוטו-וולטאיות (קיים בארה"ב, בישראל בשימוע של רשות החשמל). בנוסף, יש לתת היתר לקיזוז אנרגיה המוזנת לרשת מאנרגיה הנצרכת מהרשת (קיים בארץ למערכות סולאריות, לא לסוללות). במשא ומתן שלי עם שלוש יצרניות חשמל פרטי בישראל נתקלנו בבעיה שלא נתנו להם אישור לעשות שימוש בשום סוללה שמחוברת לרשת בגלל שאין רגולציה לטעון ולפרוק סוללות מחוברות רשת. בסוף הדיונים, הדבר היחיד שהסכימו לאשר זה בנק סוללות לשימוש העצמי של החברות בתוך התחנות, מה שנקרא חשמל שחור (מגה-ואט-שעה בודדים בכל תחנה), ללא שום אפשרות למכור את החשמל דרך הסוללות. חשוב להבין שחשמל כזה עוזר למנהל המערכת גם מבחינת התדר וגם מבחינת ההספק, גילוח פיקים וחוסך פיקים למענה לצריכה מוגברת פתאומית, וצריך לפתח את הרגולציה בנושא הזה. נדרש עידוד ממשלתי של שחקנים לשקול פתרונות כאלה – הכי קל למנהל רשת להרחיב תשתית פיזית, כי זה מה שהוא מכיר ורגיל לעשות; כלומר הקמת פיקרים חדשים. ברוב המדינות נדרשת רגולציה שמחייבת בחינת פתרונות אחרים זולים יותר כמו ניהול בנק הסוללות הציבוריות והפרטיות במקום פיקרים.

בנוסף, נדרשות תקנות בנושא אבטחת סייבר וכן נדרשים תקנים מחמירים לגבי הגנה מפני שריפה והתפוצצות של בנקי סוללות בכל סדר גודל. אמנם, עד היום לא התפוצצו סוללות של אגירה אך כן התפוצצו סוללות של מכשירים סולאריים.

כלכליות – מסכים עם ליאור הנדלסמן לגבי האנלוגיה בין סוללות לפנלים סולאריים. אין שינוי מהותי בנצילות התאים הפוטו-וולטאיים (היתה לפני יותר מעשור כ-12-14% והיום עומדת על כ-19%), אך המחיר כיום הוא כעשירית. השילוב בין אנרגיה סולארית וסוללות מאוד כדאי היום – עלות ייצור של חשמל פוטו-וולטאי עומדת על 3-4 סנט לקוט"ש בתחנות גדולות, ובשילוב עם אגירה העלות עוד יורדת, כי יש אפשרות לקנות בלילה חשמל זול ולמכור אותו במחיר גבוה בהרבה במשך היום. בסעודיה, נבנו שתי תחנות של 100 מגה-ואט על ידי שתי חברות שונות שזכו במכרז עם מחיר של 2.8 סנט לקוט"ש.

בארץ, עלות ריאלית של מערכת סולארית משולבת אגירה היא 5,000-6,500 שקלים לקילו-ואט מותקן: 3,000-4,000 למערכת הסולארית ועוד 2,000-2,500 לאגירה. המערכות האלה מחזירות את עצמן תוך 5-7 שנים. לדעתי, זה ירד ל-4,000 ש"ח לקילו-ואט מותקן בתוך שנה, עם ריבוי ההתקנות והמשך צמיחת תחום הסוללות בעולם.

הקצאת קרקע – לדעתי, צריך לקדם את הנושא של הסבת קרקעות חקלאיות לטובת שימוש תעשייתי של ייצור אנרגיות מתחדשות.

מו"פ – ישראל מפגרת אחרי העולם בנושא של שילוב אנרגיה סולארית ואגירה; אנחנו לא מפגרים מבחינת פיתוחים אלא מבחינת היישום בשטח וההשקעה הכספית. לדעתי, יש לעודד מו"פ בתחום הזה והקולות הקוראים שמשרד האנרגיה מוציא הם מבורכים והלוואי ויצא מזה משהו. אני ביצעתי 11 פרויקטים בשוק האירופי המשותף במסגרת התוכנית FP4-FP6<sup>29</sup> וקיבלתי מהמדען הראשי האירופי 13 מיליון אירו. לצערנו, בישראל התקציב של המדען הראשי של משרד האנרגיה רק הולך ומצטמצם עם השנים.

ביטחון אנרגטי – לישראל יש בעיות גם בנושא של יתירות (redundancy) המערכת וגם בהקשר של עצמאות אנרגטית והתחום הזה בהחלט יכול לתרום לשיפור המצב, בייחוד במצבי חירום כגון תחת מטח רקטות.

**מייק גרין:** נשאלה השאלה האם לישראל יש יתרון יחסי בתחום? ולדעתי התשובה היא שלא, נהפוך הוא, כיוון שהרגולציה לא מעודדת אגירה, אי אפשר לעבוד בישראל, כל מה שאני יודע על התחום זה כתוצאה ממה שתכננתי וביצעתי באפריקה.

עד כה שמענו בעיקר על סוללות ליתיום, אך צריך לקחת בחשבון שאולי כן יהיה מחסור של ליתיום. כבר 20 שנה אני שומע על טכנולוגיות אחרות, כמו ונדיום או מי מלח. האם לדעתכם יש טכנולוגיה נוספת שיכולה לבוא לידי ביטוי בשנים הקרובות? ומובן שטכנולוגיות אחרות יקרות יותר אם עדיין אין להן שוק.

**ד"ר גיא אנקונינה:** באוסטרליה יש פרויקט של חברה גרמנית עם סוללות ונדיום של 120 מגה-ואט שמחזיק שדה סולארי. אני לא יודע מה הסטטוס.

**עמי אלעזרי:** גם בתחילת הדרך של הפנלים הסולאריים היו מספר טכנולוגיות ובסופו של דבר מה שניצח זה הסיליקון, וזה הודות למסה של התקנות ורמת מחירים.

**איתן פרנס:** ברגע שבונים מפעלי ענק שמתבססים על ליתיום, כדי להסיט לכיוון אחר זה עניין של לפחות עשר שנים.

**ליאור הנדלסמן:** האם זה דיון טכנולוגי או כלכלי? כל הטכנולוגיות טובות ומבטיחות אך מה שניצח כלכלית בעולם זה סיליקון גבישי (Crystalline silicon) וזה בגלל הכמויות, וגם פיתוחים חדשים (Heterojunction, Perovskite) הם למעשה רק וריאציה על בסיס הסיליקון. לדעתי, זה גם מה שיקרה לגבי ליתיום-יון, ההיקף של זה הוא עצום לעומת כל דבר אחר שקורה היום בעולם, בסדרי גודל. אני לא חושב שכל המכונות שימכרו ב-2026 יהיו חשמליות, אך גם אם רק מחצית מהן יהיו חשמליות, מדובר על 150 מיליון כלי רכב בשנה. אם נכפיל את זה ב-100 קוט"ש סוללה למכונת, אלה כמויות בלתי נתפסות. בעולם הכלכלי כמויות משפיעות על המחיר וגם מעודדות חדשנות, לכן אני צופה לליתיום עתיד מזהיר.

**מייק גרין:** האם יש מספיק ליתיום בעולם? סיליקון זה אחד היסודות הנפוצים.

<sup>29</sup> תוכניות מימון המחקר והחדשנות של האיחוד האירופי בשנים 1994-2006 (כיום מתקיימת התוכנית תחת השם Horizon2020)

**ד"ר גיא אנקונינה:** הבעיה שעכשיו יש גם אגירה, גם תחבורה חשמלית וגם טלפונים סולאריים. אני חושב, שלתחום האגירה, שבו אין בעיה של מקום, צריך לחשוב על כיוון אחר, כי אחרת, לאורך זמן, זה יגרום לעלייה במחירי הליתיום.

**ליאור הנדלסמן:** אני חושב שגם באגירה יש מגבלת מקום - במצגת שנתתי שמתתי דגש על אגירה שיושבת אצל היצרן הביתי או המסחרי, ברשת החלוקה (Behind the meter storage), כי על פי המחקרים זה הסוג שצפוי להתפתח, ובאגירה כזאת הגודל והמשקל כן משמעותיים. באגירה במתקנים גדולים ברשת ההולכה, שם הגודל פחות משמעותי, עדיין יש עלויות תחזוקה של רשת ההולכה. בעתיד גם כלי הרכב החשמליים ישמשו לאגירה וכלי הרכב יהיו חלק מהרשת, וזאת עוד סיבה לכך שאני מאמין שלטכנולוגיה עם נצילות נפחית/משקלית גבוהה יש יתרון גם פה.

יש טכנולוגיות מצוינות של פנלים סולאריים, כולם זוכרים את סולינדרה (Solyndra) כחברה שפשטה את הרגל, אך הטכנולוגיה שלהם היתה מצוינת, הם גם עמדו ביעדי הוזלת המחיר שהם קבעו לעצמם, רק שבאותה תקופה היתה הוזלה דרמטית של פנלים עם סיליקון וזה פשוט גמר אותם. יש עוד הרבה טכנולוגיות טובות, אך הן הפסידו לסיליקון הגבישי כלכלית, לא טכנולוגית.

**גל שופרוני:** נשאלה השאלה למה אנחנו, רשות החשמל, לא מתווים רגולציה שתוכל לאפשר לכל הדבר הזה לקרות בארץ, ותשובה היא שאנחנו כן. מפת הדרכים של רשות החשמל<sup>30</sup> מצביעה על שלושה כיוונים:

- אגירה לייצוב תדר,
- אגירה כתחליף רשת (אם רוצים להימנע מפיתוח, תחזוקה ושדרוג של תחמ"ש לצורך מענה לשעות בודדות, ניתן לעשות זאת באמצעות אגירה),
- שילוב אנרגיה סולארית ואגירה.

שילוב אנרגיה סולארית ואגירה – אנחנו מתכוונים לצאת עם מכרז בנושא. אנחנו לא מגבילים את סוג הטכנולוגיה, התחרות היא על המחיר. מבחינת ההליך - מנהל החשמל עדיין לא פרסם את התקנות שמאפשרות את הנושא ובמקביל מובעות עדיין חששות מהנושא הבטיחותי – ולכן אני חושב שכיום, להתקדם בצורה איטית, זה הדבר הנכון לעשות. אף אחד לא היה רוצה לדהור קדימה ושיצא שם רע לכל הנושא של אגירה בגלל היעדר תקנות. כמובן שכל הדבר הזה יוסדר עד שיצא המכרז, והכוונה שזה יקרה ב-2019.

לגבי העלות – עד לפני שלוש שנים המחיר היה פי שש, ולכן, כרשות החשמל, האינטרס הוא לאפשר לדבר הזה לקרות, אך צריך לגרום לזה לקרות בצורה הכי אחראית ויעילה כלכלית, כיוון שהעלויות האלו מושתות בסופו של דבר על תעריף החשמל, ולכן אנחנו נרצה שזה יקרה בזמן הנכון והמתאים שהוא כנראה עכשיו, לפי מה שאנחנו רואים מרמות המחירים.

לגבי FIT – אנחנו כמעט כבר לא בעולם הזה, למעט בתחום של גגות בתים, כי אי אפשר לצפות שמשק בית יתמודד במכרזים מול משקי בית אחרים.

<sup>30</sup> מפת דרכים לפיתוח מקטע הייצור במשק החשמל 2018-2030 – פורסמה להתייחסויות הציבור ביוני 2018.

**איתן פרנס:** תממנו לו סוללה במקום. תעשו את החשבון המשקי, כמה זה עולה למשק החשמל העובדה שאדם יכול להתקיים ללא הרשת, ותראה שאתה כבר שם.

**גל שופרוני:** בד בבד יש שיח לגבי אחוז החדירה של אנרגיה סולארית לרשת, ולגבי הגדלת יעדי המדינה. אנחנו הולכים לעמוד ביעד של 10% תוך שנה וחצי ואנחנו מסתכלים קדימה; כרגע היעד הוא 17%, ויש הרבה לחצים להגדיל אותו, כל זאת יקרה כמובן רק עם אגירה. ניצול משאב הרשת, החלפת הספקים, פיקרים – לא תהיה התקדמות בנושאים האלה בלי שקודם כל תהיה התקדמות בעולם האגירה – שני הדברים הולכים ביחד.

Spot pricing – יש הרבה משקי חשמל בעולם שיותר מתקדמים מאיתנו ומפעילים מנגנונים כאלה ואחרים, אך צריך לזכור שהרפורמה במשק החשמל יצאה לדרך רק לפני שנה. אני מאמין שגם אנחנו בסוף נגיע לזה, אבל אני לא בהכרח קושר את זה לשיח על אגירה, אני לא מרגיש שזה משהו שמעכב.

רגולציה – איתן פרנס הזכיר מסמך בנושא, נשמח לקבל כל ידע שיש לכם, מחקרים על רגולציות ודוגמאות מהעולם מה צריך לקחת בחשבון, נשמח לקבל וללמוד מהם.

**פרופ' דורון אורבך:** עדכון טכנולוגי – בתחום של סוללות יש הרבה הבטחות, חלקן לא מבוססות, חלקן אף מנוגדות לחוקי הטבע המוכרים לנו.

סוללת ליתיום-יון לא כל כך מתפוצצת, מייצרים היום מיליארדי סוללות, וכדי שסוללה תתפוצץ צריך שיהיה פגם מאוד משמעותי בקו ייצור, וזה דבר מאוד מאוד נדיר. הנושא של הייצור השתכלל מאוד ואחוז התאונות הוא נמוך ביותר, גם בהשוואה לתחומים אחרים.

בהנחה שמהפכת הרכב החשמלי מצליחה, אין לנו מספיק ליתיום להכל וצריך להתמקד ביסודות המתאימים לאחסון אנרגיה נרחב – נתרן, אשלגן, מנגן, פחמן וחמצן, ויש מערכות כאלו, גם בארץ, שזמן פיתוחן יסתיים בשנה הקרובה.

מחזור סוללות – לאחר שסוללה גומרת את חייה בתוך רכב חשמלי הירידה בתפקוד שלה מאוד תלולה, קורים שם תהליכים הרסניים, שאין מה לעשות כנגדם - המסה האקטיבית מתפוררת בחלקה, היציבות של המערכת מתפרקת. סוללות ליתיום אחרי שימוש של עשרים שנה לא מתאימות למחזור, תורידו את הנושא הזה מהפרק, ומי שמדבר על כך לא מבין איך הן עובדות. צריך לפתח תהליכי מחזור, אך אני מעריך שיעברו עוד עשרות שנים עד שיהיו לנו תהליכי מחזור מספיק טובים. הרבה יותר קשה למחזר מאשר לפתח סוללה. אפשר מבחינת חוקי הטבע למחזר את המתכות, ויש לזה דרישה, אז בסוף זה יקרה, אך זה יפגר מאוד אחרי הביקוש. כרגע העדיפות בתחום היא פיתוח הסוללות, והתייחסות למחזור נמצאת בעדיפות משנית אצל כל המדענים שעוסקים בתחום.

גם בתחום הסוללות לאגירה צריך להלחם בנושא של צפיפות האנרגיה, אך בשונה מתחומי הסולולאר או כלי הרכב, המלחמה לא כל כך קריטית. אם רוצים סוללה בכל בית (בסדר גודל של 20-10 קוט"ש שתספיק ליממה), למשל לצורך התמודדות עם מקרי אסון שקורים בכל רחבי העולם וגורמים לניתוק רשת החשמל, אז הסוללה צריכה להיות בגודל של ארון ולא בגודל של חדר.

מבחינה מדעית-טכנולוגית יש פתרונות, ובישראל יש קהילה אלקטרוכימית חזקה מאוד, ואפשר בהחלט לפתח פה תעשיית אנרגיה.

**ד"ר גדעון פרידמן:** טכנולוגיות - אנחנו עובדים עם טכנולוגיית הסיליקון משנות ה-70, ויש פוטנציאל לפיתוח של טכנולוגיות אחרות, אולי זה לא יקרה אך פוטנציאל קיים. שינוי משמעותי ראשון (אך לא מהפכה) הוא פנל דו-צדדי, אבל טכניקת הטנדם (Tandem) כן יכולה להוות מהפכה.

אגירה – יש טכנולוגיות של מימן שיכול להיות שיתפסו בסוף. אני לא רואה איך סוללות ליתיום-יון נותנות את המענה הבין-עונתי, ולכן יהיו טכנולוגיות אחרות. העולם של הסוללות, בשונה מהעולם הסולארי, הוא לא כל כך אחיד כמו שמתארים – ליתיום-יון זה עולם עם שונות גדולה, יש הרבה טכנולוגיות ולא בטוח שנתקדם רק עם טכנולוגיה אחת. אולי ביכולת היישום אנחנו פחות חזקים, אך יש לישראל יתרון יחסי ביכולת הפיתוח, יש לנו צוותים מאוד חזקים באקדמיה.

**אמנון פורטוגלי:** הסיליקון, בגלל ההיקף העצום שלו מכתוב את הטון בעולם הסולארי. באמצע שנות ה-60 תדיראן היתה אחת החברות המעניינות בעולם במיקרו אלקטרוניקה, והיה שיח ער האם זה יקרה בגרמניום או בסיליקון, תדיראן בחרה בגרמניום והפסידה את הכל.

יכול להיות שאין פריצת דרך, אבל אסור לזלזל בתהליך ההדרגתי המתמשך לאורך שנים של הגדלת היעילות – לפני עשר שנים זה היה חצי מאשר כיום וזה מלווה בהורדת המחיר אף יותר. פיתוחים נוספים שתהיה להם משמעות גדולה הם הפנלים הדו-צדדיים, פיתוח מעניין נוסף הוא פנלים שקופים שיכולים להחליף חלונות בבתים ומשרדים. ללא ספק העולם הולך לאנרגיות מתחדשות, וישראל הקטנה אמנם לא משפיעה כמעט על נושא האקלים, אך החכמה היא לנצל את ההזדמנויות העסקיות החדשות שזה פותח בפנינו. למשל, אם המדינה היתה מחליטה שהיא מעוניינת לקדם את נושא מחזור הסוללות, והיתה נותנת את התמיכות לכך, אז היום עוסקים בכך ויתכן שישראל היתה יכולה להוביל בתחום הזה.

**ד"ר עוזי זרחיה:** אנרגיות מתחדשות נכנסות בכמויות לרשת החשמל בכל רמות המתחים, אנחנו רואים את ההשפעה של הנושא כבר היום ונערכים גם להשפעה העתידית. בהיבט של מנהל המערכת – אנחנו רואים את הנושא של אגירה כנושא חשוב בהקשרים שונים (עקומת הברווז, ייצוב תדר ומתח ועוד), ואנחנו נערכים לכך במספר מישורים:

- אנחנו מבצעים מספר עבודות שתכליתן לבדוק את הגודל, הכמויות והפיזור של סוללות הנדרשות בהתאם לייעודים שונים. בעניין הזה אני מסכים עם הרגולטור, אני חושב שצריך להכנס לזה בזהירות, כי הנושאים האלה משתנים לכל מדינה ולכל תצורה. אמנם מסתכלים על מה שקורה בעולם, אך בסופו של דבר צריך לשקול תועלת מערכתית ומשקית ביחס למדינה שלנו. לדוגמה, כאשר אנחנו מנסים לכמת את התועלות של סוללות הן נבחנות למול הרזרבות הסובבות הקיימות – מה מהן עדיף? האם נדרש שילוב של הדברים? ולפי זה אנחנו קובעים קריטריונים לפיתוח מערכת עתידית.
- אנחנו מבצעים מחקרים על השילוב של אנרגיות מתחדשות ואגירה.
- אנחנו גם נכנסים לבדיקה של שתי יחידות של 1 מגה-ואט, האחת כבר עברה מכרז והיא תכנס לתחמ"ש ותחובר למתח גבוה, והשנייה גם כן בתהליכים, כאשר מבחינה טכנולוגית – הראשונה היא סוללת ליתיום-יון, והשנייה תהיה כפי הנראה בטכנולוגיית סוללות זרימה.

אני מעריך שבחודשים הקרובים יהיו לנו יותר תשובות לגבי כמויות, ייעודים ויכולות שאנחנו מתכוונים להשקיע בנושא הזה.

**פרופ' גרשון גרוסמן:** אנחנו מדברים על אגירת חשמל, אבל למה אנחנו לא מבצעים אגירה תרמית, למשל, בנושא של מיזוג אוויר? מיזוג אוויר הוא אחד הצרכנים הגדולים של חשמל – בישראל כ-40% מהחשמל המיוצר נצרך לטובת מיזוג אוויר, בארה"ב המספר דומה, באירופה פחות. אגירת יכולת מיזוג אוויר זה דבר די פשוט, זה אולי לא מתאים לצרכן הביתי אך צרכן גדול, כמו קמפוס אוניברסיטה, צריך להפעיל את מערכת הקירור למיזוג האוויר בשעות הלילה או בשעות שפל ולייצר מים קרים או קרח (ובמשך הזמן ודאי יהיו שיטות אגירה יותר קומפקטיות) ובכך להשיג תועלות גם לארגון וגם למשק. למה זה לא קורה יותר?

**איתן פרנס:** משרד האנרגיה לא מכיר בהתייעלות התרמית, עד כדי כך שאפילו בעקבות הסכמי פריז, נקבע יעד כהתייעלות בצריכת חשמל. כנראה שהנושא הזה מורכב מידי, גם למשרד האנרגיה וגם לרשות החשמל - רשות החשמל גם לא מייצרת הסדרי השלה, כל התפיסה של ניהול צד הביקושים לא קיימת, כאשר התהליך העמוק גם קשור ברפורמה. במשך שני עשורים מידע אפילו לא זרם – עד היום, אני חושב, אין לרשות החשמל או למשרד האנרגיה פרופילים של סוגי מבנים וסוגי צרכנים, כפי שקיים בכל משק חשמל משוכלל. הסנונית הראשונה היא אולי פיילוט שמריץ היום משרד האנרגיה של חברה שמתעדת לעשות ניהול עומסים דיגיטלי.

**ד"ר גדעון פרידמן:** אנחנו מקדמים חזק מאוד את הנושא של ניהול ביקושים, ויהיה לזה ביטוי בזמן הקרוב, כי גם ברשות החשמל מבינים את החשיבות של זה, ואני מעריך שזה יסייע קצת. הנושא של התייעלות אנרגטית הוא בעייתי באופן כללי – אנחנו כן תומכים בפרויקט עם טכנולוגיה מעניינת בקרח והיו גם כאלה בעבר; בשורה התחתונה כרגע הכלכליות של זה היא גבולית לאור מחירי החשמל בארץ. ההפרש התעו"זי הינו גבולי להרבה צעדים של התייעלות אנרגטית. אני מקווה שנראה שיפור – נראה Demand response הרבה יותר משמעותי בקרוב וגם התייעלות אנרגטית.

**ליאור הנדלסמן:** אגירה בקרח – זה מחזיר אותנו לדיון על טכנולוגיות אגירה. אני בחנתי לעומק שלושה סטארט-אפים בעולם, אחד מהם ישראלי, שעוסקים בתחום של אגירה בקרח. הם מדברים על שני מספרים – כמה זה עולה היום (המון, כי הם סטארט-אפ) ותחזית כמה זה יעלה בסוף תהליך הפיתוח. שלושת החברות שאני בחנתי מראות שבסוף תהליך הפיתוח הן ידעו להתחרות עם מחירי הליתיום של היום, וזאת בעיה – יקח להן כמה שנים להגיע לקצה האבולוציה והליתיום לא מחכה להן. אגירה בקרח היא טכנולוגיה מצוינת, כי חלק מהמערכת כבר קיים, עדיין כיום היא לא זולה מספיק מול החלופות.

**עמי אלעזרי:** היו בישראל טכנולוגיות של מיזוג אוויר סולארי - חברה בשם קולינג טק בפרדס חנה ומתקן על גג בית חולים בתל השומר, וזה היה מאוד יעיל ומעניין. אני חושב שמשרד האנרגיה צריך לעשות ניסיון לבדיקת הטכנולוגיות האלה של קירור ספיגה סולארי. ניתן לקנות מערכות כאלו מסין ב-250 דולר למזגן של 9,000-12,000 קוט"ש BTU.

**פרופ' גרשון גרוסמן:** אתה מדבר על טכנולוגיה של מערכת ספיגה שפותחה באוניברסיטת בן גוריון והשתמשו בה בחומרי עבודה לא כל כך מוצלחים, אני לא מתפלא שזה לא הצליח. אבל בהחלט, מערכות ספיגה זה דבר שקיים. היה בשנות ה-70 פרויקט לאומי (במימון ממשלתי) למיזוג אוויר סולארי שביצעה חברת תדיראן בבית חולים תל השומר. מערכות הקירור הראשונות בהיסטוריה היו מערכות ספיגה. בארה"ב ובדרום מזרח אסיה יש



הרבה מערכות כאלה. אני חושב שכאשר גז טבעי יכנס לשימוש נרחב זה יעשה מהפכה בשוק מיזוג האוויר, כי אז יהיה כלכלי להתקין מערכת ספיגה המופעלת בגז. לעניין אגירה, אם יש מערכת מיזוג אוויר המייצרת קור, השאלה אם כדאי להפעיל אותה ב-12 בצוהריים או להפעיל בלילה ולאגור את הקור?

**איתן פרנס:** הבעיה של הטכנולוגיות האלה היא העונתיות – הן משמשות רק בחלק מהשנה ואז תקופת החזר ההשקעה היא הרבה יותר ארוכה. לעומת זאת חשמל הוא אוניברסלי.

**ד"ר גדעון פרידמן:** עדיף להתקין מערכת פוטו-וולטאית ולייצר את החשמל בעלות נמוכה של כ-20 אגורות (לעומת מחיר החשמל שהוא יותר מ-50 אגורות) ולמזג באמצעותו כמה שרוצים.

**אמנון פורטוגלי:** העולם הולך להתהפך – היום משלמים מחיר יקר על מיזוג אוויר בשעות היום, אבל בעוד כמה שנים ישלמו לך כדי שתקח חשמל במהלך היום, בשל עודפים משיא הייצור הסולארי.

**איתן פרנס:** בסוגיה של עודף ייצור יש אלמנט חשוב שנקרא קיטום – הורדת תחנות מרחוק, אפשרות שקיימת לגבי כל מתקן סולארי מעל גודל מסוים. ההערכה שלנו היא שרשות החשמל תצליח להגיע ל-9% אנרגיות מתחדשות בסוף שנת 2020, ואנחנו לא מבינים איך ניתן יהיה לנהל את המערך הזה מול המערך הקיים של תחנות הכוח. מבחינה ניהולית צריך להוריד את התחנות הפחמיות למינימום (לא לסגור אותן), גם את חלק מהמחז"מים לא ניתן להפעיל רק בערב, והמשמעות היא שיצטרכו לקטום את האנרגיה הסולארית, כלומר, אנרגיה סולארית תלך לאיבוד, אם לא נתכונן בזמן עם מערך אגירה. אם רשות החשמל או מנהל המערכת לא ידעו להגיד בכמה מגה-ואט האירוע הזה מתחיל (בישראל עדיין אין את המספר הזה), ההערכה שלנו שנדבר על קיטום כבר בזמן הקרוב, ולכן, עכשיו הוא הזמן לפיתוח תשתיות אגירה.

**אמנון פורטוגלי:** מה הבעיה לזרוק חשמל לפח? העלות השולית היא אפס.

**איתן פרנס:** לאיבוד אנרגיה יש הרבה השלכות – המתקנים האלה עובדים לפי אסדרות מסוימות, יש דגרדציה של המתקנים ועוד השלכות שלא נתנו עליהן את הדעת עד הסוף. העובדה שמשק חשמל לא הצליח לפתח תשתיות אגירה וכתוצאה מכך הוא קוטם אנרגיה, במקום להשתמש באנרגיה הזאת במקום אנרגיה דלקית בשעות אחרות, זה משהו שלא צריך לקרות, וצריך כבר עכשיו למצוא לזה פתרון.

**ד"ר אברהם ארביב:** נאמר כאן שאגירה לא עולה כמעט כלום, אז אין בעיה.

**ליאור הנדלסמן:** לא אמרתי כמעט כלום, אלא עשירית ממה שזה עלה בעבר.

**עידן ברק:** בפרויקטים שאנחנו עושים בארה"ב, חלק מהמודל הכלכלי שמאפשר לנו להקים את הפרויקטים כולל קליטת עודפים מהרשת, כיוון שבמקומות עתירי שמש (כמו נוואדה או קליפורניה) קונסים כיום יצרנים פרטיים על ייצור יתר, ולכן למעשה אנחנו מקבלים תשלום על הטעינה של הסוללות שלנו. זה לא כל היום ככה, אבל אנחנו מוכנים לאירועים כאלה.

**עמי אלעזרי:** בדומה להחלטה שהתקבלה בעבר לגבי חובת התקנת מערכות סולאריות לחימום מים (דודי שמש), אני חושב שאנחנו צריכים לקרוא לקבלת החלטה המחייבת התקנת מערכת אגירה כתנאי לקבלת טופס 4, וכך בכל בית בישראל תהיה מערכת אגירה, בלי קשר למערכות סולאריות.

**איתן פרנס:** זה לא מסתדר עם ההחלטה של משרד האנרגיה לתמהיל של 80% גז טבעי ו-20% אנרגיות מתחדשות. עד שלא נצא מהמקום הזה, לא יקרו דברים כאלה.

**פרופ' גרשון גרוסמן:** חוק התכנון והבנייה מחייב רק בתים פרטיים עד תשע קומות (או שבע קומות עליונות בבניין גבוה יותר); אם היו מחייבים גם צרכנים מוסדיים, אז ניתן היה לחסוך 10% מתצרוכת האנרגיה הלאומית, לעומת חיסכון של כ-3% כיום. למה שמלונות, למשל, לא יתקינו מערכות כאלה?

**ד"ר גיא אנקונינה:** הכמות שאתה תקבל מגג סולארי במלון היא קטנה ביחס למה שהמלון צורך.

**איתן פרנס:** תחשוב גם על קירות הצד, זה רק עניין של זמן עד שזה יקרה, זה לא רחוק כל כך.

**ליאור הנדלסמן:** התמקדנו בטכנולוגיות אגירה אבל לא דובר בכלל על טכנולוגיות ניהול הרשת.

**ד"ר גדעון פרידמן:** אני ציינתי את זה.

**ליאור הנדלסמן:** בנושא הזה יש פערים עצומים, ולישראל יש מה לתרום כי זה קשור למחשוב, סייבר, שימוש מבוזר במשאבים, למידת מכונה – נושאים שישראל מאד חזקה בהם.

**מייק גרין:** יש גם היתרון שכל קיבוץ הוא למעשה מיקרו-גריד שבו ניתן לעשות מה שצריך לעשות בלי שחברת החשמל מתערבת או מגבילה.

**ליאור הנדלסמן:** אני מסתכל בשני כובעים – אחד, איך אפשר לעזור למדינה בהיבט משק האנרגיה, והשני, איך ניתן לעודד פיתוח טכנולוגיות. זה מחייב בעיניי תוכנית לאומית.

**גל שופרוני:** במרכז שלנו יש בהחלט את ההיבט של מנהל המערכת ששולט מרחוק על מתקן האגירה. נקודה נוספת - ההשוואה לעולם לא תמיד מחמיאה לישראל, אך לאחר כניסת הרפורמה במשק החשמל צריך לתת קצת זמן; הדברים מתחילים לקרות.

**ליאור הנדלסמן:** זה בעיקר חשוב למדינה, פחות חשוב לחברות. אם הדברים לא יקרו ברמת המדינה, אנחנו, כאזרחים, נשאר מאחור, ביחס לעולם. היערכות מנהל המערכת ליישום טכנולוגיות ניהול רשת היא מאוד חשובה. בין היתר, גופים שונים, לא רק רשות החשמל, מכתיבים הגבלות ומגבלות שהן לא תמיד הגיוניות ולחלקן גם יש מענה, וגם בזה צריך לטפל.

**עמי אלעזרי:** רשות החשמל לא צריכה להגיד לאט-לאט, אלא היא צריכה להיות המנוע של הדברים, גם בניגוד לעמדת שר האנרגיה או שר האוצר.

הירידה הדרמטית במחירן של מערכות פוטו-וולטאיות בעשור האחרון הביאה לשינוי מהותי ביותר בתחום ייצור החשמל מאנרגיות מתחדשות. לאחר תקופה ארוכה בה היה מחירו של חשמל פוטו-וולטאי גבוה מכדי לאפשר שימוש רחב, כיום הוא מהווה מקור תחרותי לחשמל מתחנות כוח, ובקנה מידה של הרשת הארצית. אנרגיה סולארית היא מקור אנרגיה רצוי אך לא יציב, ולא תמיד מספק את החשמל במועד בו הוא דרוש. השילוב של מערכות סולאריות פוטו-וולטאיות עם אגירה מהווה למעשה מקור אנרגיה מתחדשת חדש, שנותן מענה לאספקת חשמל אמין, רציף ובמועד הנדרש. הוספת אגירה למערכת סולארית מהווה לא רק פתרון לסוגיית אי-ההתאמה בין מועד האספקה והצריכה, אלא שיש בה פוטנציאל להוספת ערך משמעותי, לבעלי עניין שונים, בזמנים שונים של היום והשנה. אותה סוללה המשמשת את הבית הפרטי יכולה לשמש גם את רשתות החלוקה וגם את רשתות ההולכה - לגיבוי, לייצוב תדר ברשת ועוד.

### המלצות:

1. מומלץ לאפשר למתקנים המשלבים מערכות סולאריות ואגירה להנות מהטבה של Net Energy Metering: בעלי המתקנים המשולבים יכולים להזין אנרגיה לרשת ולקבל קרדיט על כולה (בישראל כיום לא ניתן היתר לסוללות להזין חשמל לרשת).
2. מומלץ לבנות רגולציה מעודדת אגירה - כיום הנושא לא מוסדר באמות המידה של רשות החשמל: אין תמריצים לשימוש יעיל או קנסות לשימוש לא יעיל, בהתאם לצורכי רשת החשמל (בדומה, למשל, למנגנון Demand charge). גם אין תמריצים כלכליים לפיתוח נושא האגירה, הצרכן לא מתמודד עם עודפי הייצור שלו.
3. לאחרונה (אוגוסט 2019) פרסמה רשות החשמל טיוטת רגולציה לעיון הציבור (שימוע) בנושא זה.
4. יש לבנות מנגנון ורגולציה מתאימה לטיפול בר קיימא בסוללות בסוף חייהן.
4. מומלץ לפתח את הנושא של תחנות וירטואליות באמצעות רגולציה מתאימה למטרה זו (הזנת אנרגיה לרשת, קניית חשמל בתעריף עודף ועוד). בתחנות הווירטואליות מערכת הניהול מבטיחה טעינת הסוללות בזמני עודף ייצור ואספקה לרשת בזמני ביקוש עודף. ההשקעה של מנהל המערכת בפתרונות כאלה הינה עשירית מההשקעה בתשתיות פיזיות, וכך המתווה הפיננסי הנפוץ הוא תמיכה חלקית או סבסוד של המערכות תמורת שימוש בהן במשך כמה שעות בשנה – זה משתלם לשני הצדדים, ומאפשר להימנע מתהליך של הרחבת או שדרוג תשתיות (הקמת תחנות כוח, קווי הולכה, תחנות משנה ועוד).

## נספח 1: תוכנית פורום האנרגיה

13:00 פתיחה

13:10 **ליאור הנדלסמן** - Solar Edge:

PV + StorEdge systems – Global outlook and future trends

13:20 **ד"ר גדעון פרידמן** - משרד האנרגיה:

PV + אגירה כמקור אנרגיה מתחדשת חדש

13:30 **ד"ר מרים לב-און** - The Levon Group LLC:

Recent Developments of PV Power Systems with Storage in the U.S.

13:40 **עמי אלעזרי** - מילניום אלקטריק בע"מ:

אגירת אנרגיה מהשמש בסוללות LiFePo4 ליתיום-פוספט ל-25 שנה, 6,000-10,000 מחזורי פריקה טעינה – המהפכה הבאה בשוק האנרגיה העולמי: רכבים, בתים ותחנות כוח

13:50 **פרופ' דורון אורבך** - אוניברסיטת בר-אילן:

The challenges of energy storage & conversion: electro-mobility, high energy density power sources and grid applications

14:00 הפסקה

14:20 דיון פתוח, תוך התמקדות בשאלות:

- מהי עלות ריאלית של מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה בארץ ומהו הצפי לעתיד?
- מהי הכלכליות של מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה מנקודת מבטו של היזם?
- איזו רגולציה מטעם המדינה דרושה למערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה?
- איזו מדיניות ראוי לאמץ מבחינת הקצאת קרקע, בעיקר חקלאית?
- מה יש לעשות בתחום התקינה של מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה?
- מה ידוע על תוכניות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה בעולם ומה ניתן ללמוד מהן לגבי ישראל?
- לאור המשאבים הרבים המושקעים במו"פ פוטו-וולטאי משולב אגירה במדינות מסוימות בעולם, האם יש לעודד מו"פ כזה בישראל? האם יש לישראל יתרון יחסי המצדיק זאת?
- איך יתרמו מערכות פוטו-וולטאיות משולבות אגירה לביטחון האנרגטי של ישראל?

17:00 סיום

# אנרגיה וסביבה



מוסד שמואל נאמן  
למחקר מדיניות לאומית

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