

אגירת אנרגיה בייצור חשמל



סיכום והמלצות דיון פורום האנרגיה מס' 35



אודות מוסד שמואל נאמן

מוסד שמואל נאמן הוקם בטכניון בשנת 1978 ביוזמת מר שמואל (סם) נאמן והוא פועל להטמעת חזונו לקידומה המדעי-טכנולוגי, כלכלי וחברתי של מדינת ישראל.

מוסד שמואל נאמן הוא מכון מחקר המתמקד בהתווית מדיניות לאומית בנושאי מדע וטכנולוגיה, תעשייה, חינוך והשכלה גבוהה, תשתיות פיסיות, סביבה ואנרגיה ובנושאים נוספים בעלי חשיבות לחוסנה הלאומי של ישראל בהם המוסד תורם תרומה ייחודית. במוסד מבוצעים מחקרי מדיניות וסקירות, שמסקנותיהם והמלצותיהם משמשים את מקבלי ההחלטות במשק על רבדיו השונים. מחקרי המדיניות נעשים בידי צוותים נבחרים מהאקדמיה, מהטכניון ומוסדות אחרים ומהתעשייה. לצוותים נבחרים האנשים המתאימים, בעלי כישורים והישגים מוכרים במקצועם. במקרים רבים העבודה נעשית תוך שיתוף פעולה עם משרדים ממשלתיים ובמקרים אחרים היוזמה באה ממוסד שמואל נאמן וללא שיתוף ישיר של משרד ממשלתי. בנושאי התוויית מדיניות לאומית שעניינה מדע, טכנולוגיה והשכלה גבוהה נחשב מוסד שמואל נאמן כמוסד למחקרי מדיניות המוביל בישראל.

עד כה ביצע מוסד שמואל נאמן מאות מחקרי מדיניות וסקירות המשמשים מקבלי החלטות ואנשי מקצוע במשק ובממשל. סקירת הפרויקטים השונים שבוצעו במוסד מוצגת באתר האינטרנט של המוסד. בנוסף מוסד שמואל נאמן מסייע בפרויקטים לאומיים דוגמת המאגדים של משרד התמ"ס - מגנ"ט בתחומים: ננוטכנולוגיות, תקשורת, אופטיקה, רפואה, כימיה, אנרגיה, איכות סביבה ופרויקטים אחרים בעלי חשיבות חברתית לאומית. מוסד שמואל נאמן מארגן גם ימי עיון מקיפים בתחומי העניין אותם הוא מוביל.

יו"ר מוסד שמואל נאמן הוא פרופ' **זאב תדמור** וכמנכ"ל מכהן פרופ' **עמרי רנד**.



כתובת המוסד:

מוסד שמואל נאמן, קרית הטכניון, חיפה 32000

טלפון: 04-8292329, פקס: 04-8231889

כתובת דוא"ל: info@neaman.org.il

כתובת אתר האינטרנט: www.neaman.org.il

אגירת אנרגיה בייצור חשמל

סיכום והמלצות דיון

פורום האנרגיה של מוסד שמואל נאמן

הטכניון

מיום 15.6.2015

נערך ע"י:

פרופ' גרשון גרוסמן

יגאל עברון

אוגוסט 2015



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:

תואר	שם משפחה	שם פרטי	תפקיד
מר	אגמון	עודד	הרשות לשירותים ציבוריים חשמל
מר	אור	יוחנן	אלקטרה בע"מ
מר	אילן	נעם	קפיטל נייצ'ר
מר	בית-הזבדי	אדי	משרד התשתיות, האנרגיה והמים, אגף שימור אנרגיה
מר	ברנמילר	אבי	מנכ"ל ונשיא ברנמילר אנרגיי בע"מ
פרופ'	גרשון	גרוסמן	הפקולטה להנדסת מכונות, הטכניון, ומוסד נאמן – יו"ר
ד"ר	וולפוס	שוקי	אוניברסיטת בר-אילן
מר	וולקר	גלעד	ברנמילר אנרגיה בע"מ
ד"ר	וינשטוק	דן	יועץ אנרגיה
מר	זהר	יובל	משרד האנרגיה - מינהל החשמל
ד"ר	לב-און	מרים ופרי	The Levon Group LLC
מר	נזר	רון	מנכ"ל אביב טכנולוגיות - אינטרדן אנרגיה
ד"ר	סיגד	יאיר	רפאל
מר	עברון	יגאל	הפקולטה להנדסת מכונות, הטכניון, ומוסד נאמן
פרופ'	פלד	עמנואל	אוניברסיטת תל אביב – בית הספר לכימיה
מר	פלדמן	אבי	מנכ"ל - קפיטל נייצ'ר
ד"ר	פרידמן	גדעון	משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים
ד"ר	שגיא	דן	רותם תעשיות + קפיטל נייצ'ר
מר	שדות	עמק	יועץ אנרגיה

הבעת תודה

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

תוכן העניינים

4	תקציר מנהלים
6	פרק 1 : הקדמה
7	פרק 2 : רקע
8	פרק 3 : מידע בנושא : אגירת אנרגיה בייצור חשמל
40	פרק 4 : דיון
58	פרק 6 : רשימת מקורות
59	נספח 1 : תכנית פורום אנרגיה : אגירת אנרגיה בייצור חשמל, 15.6.2015

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 ייוצר 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 לאוגוסט 2014 קיימת בעולם יכולת אגירה של כ-145 ג'יגה-וואט מותקן. 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), 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.
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.

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.

פרק 1: הקדמה

מוסד שמואל נאמן למחקר מתקדם במדע וטכנולוגיה, 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 רלבנטיות ומוגדרות, לתאם בין הגורמים ולהגיע להמלצות על דרכי פעולה לקידום הנושא, שניתן להציגן בפני מקבלי החלטות.

המפגש הדין בנושא: "אגירת אנרגיה בייצור חשמל" התקיים ב-15 ביוני 2015 בטכניון. השתתפו בו מומחים בתחום מהיבטיו השונים, וכן נציגים של הממסד הממשלתי והציבורי. המשתתפים בפורום, שנבחרו בקפידה עקב מומחיותם, מהווים, ללא ספק, קבוצה ייחודית ובעלת ידע מקצועי ראשון במעלה בתחום משק האנרגיה בכלל, ובנושא אגירת אנרגיה בייצור חשמל בפרט.

בחלקו הראשון של המפגש הציגו חלק מן המשתתפים מצגות בנושא הדיון על היבטיו השונים. מצגות המשתתפים אשר אושרו על ידם לפרסום נמצאות [באתר מוסד שמואל](#) נאמן: (אירועים). בחלק השני התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו. בפני משתתפי הדיון עמדו מספר שאלות, שהוכנו מראש, כמפורט בתכנית 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 לגבי אגירת אנרגיה בייצור חשמל בישראל.

פרק 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 ייוצר 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.

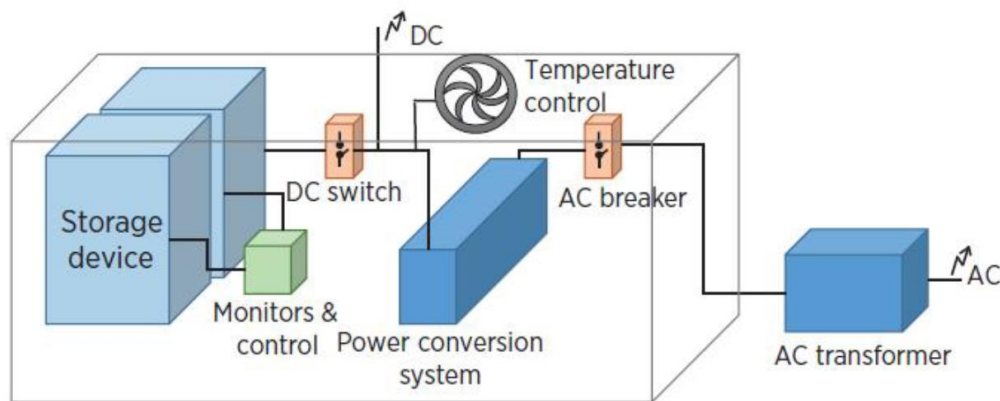
פרק 3: מידע בנושא: אגירת אנרגיה בייצור חשמל

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

פרופ' עמנואל פלד, אוניברסיטת תל אביב:

חידושים באגירת חשמל רבת היקף בשיטות אלקטרוכימיות

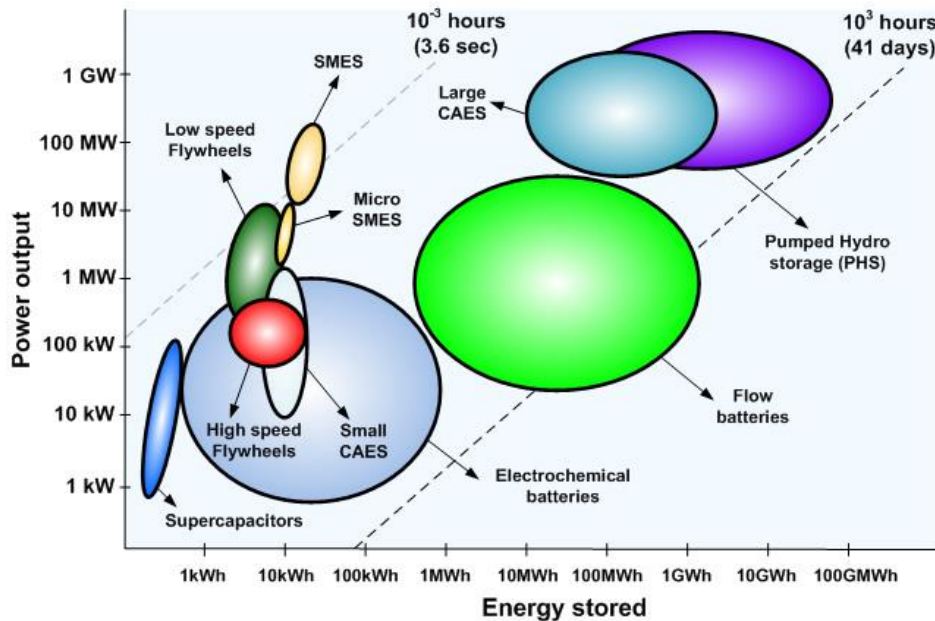
אדבר על חידושים באגירת חשמל בשיטות אלקטרוכימיות. אחת המטרות, למשל, היא אגירת אנרגיית שמש ורוח בגלל אי יציבות בזמן של מקורות אלה, והצורך להעביר אנרגיה משעה מסוימת ביום לשעה אחרת או ליום אחר. אלו דברים שכולכם מכירים היטב לכן אדלג על הבסיס. מוצגת כאן (איור 1) סכמה של תחנה לאגירת חשמל על בסיס סוללות. מצד שמאל ניתן לראות את הסוללות עצמן. למערכת נכנס זרם חילופין מהרשת בכל מיני מתחים, תלוי בסוג הרשת, זה יכול להיות בין 220V ל-6000V+. צריך להמיר לזרם ישר, לטעון את המצבר, וכשיש צורך מזרימים בכיוון ההפוך אל ה-Converter שממיר את הזרם בחזרה לרשת. המערכת הזו של הממירים די יקרה; היא עולה כרבע מהמחיר המתקן כולו, וזה לא זניח.



איור 1 – מערכת אגירת חשמל בסוללות עם רכיבי הספק עיקריים.

(Based on EPRI and DOE, 2013)

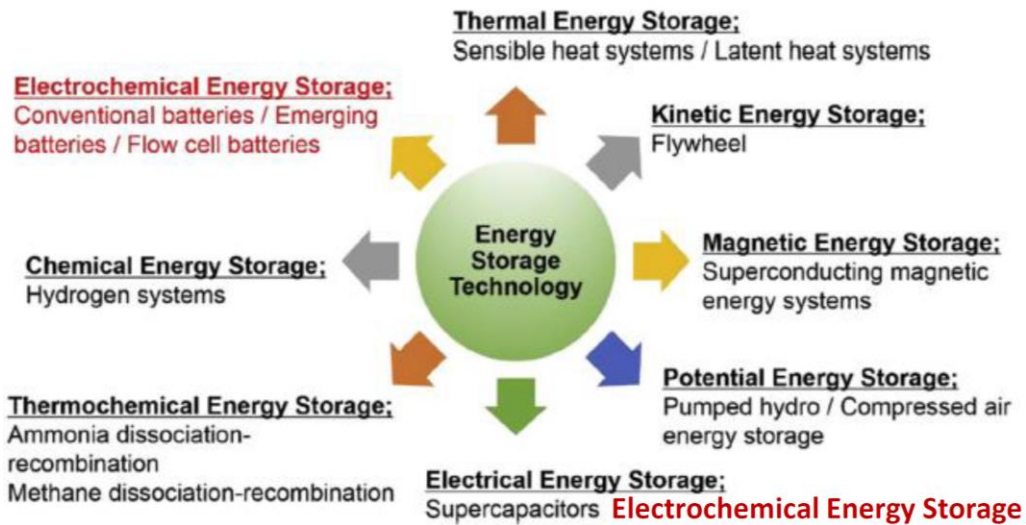
באיור 2 מוצגות טכנולוגיות שונות לפי הספק יוצא כתלות באנרגיה נצברת. בזמנים הקצרים (מערכות קטנות) יש סופר-קבלים, גלגלי תנופה, סוללות. במרכז (ירוק) נמצאות בטריות זרימה. מי שהכין את התרשים הזה לדעתי קצת הגזים עם ההספקים והקיבולת של הבטריות האלו. בהיקפים הגדולים קיימות טכנולוגיות האגירה השאובה והאוויר הדחוס.



איור 2 - Techno-Economic Analysis of Different Energy Storage Technologies

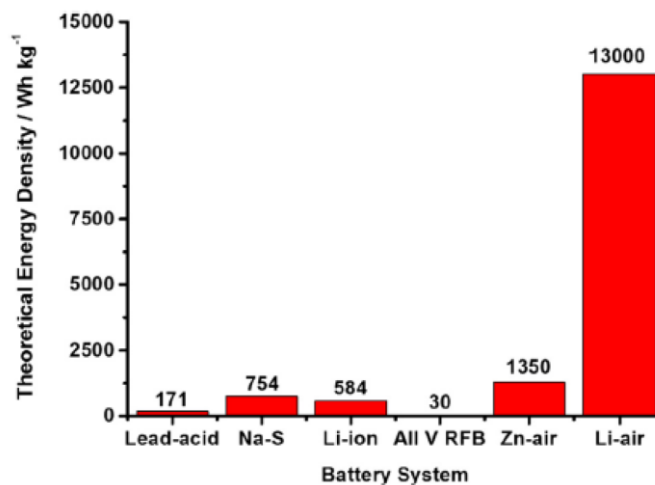
אתמקד באגירה אלקטרוכימית הכוללת סוללות, בטריות זרימה וסופר-קבלים. אתחיל בפעילות הקבוצה שלי העוסקת ב:

- אגירה באמצעות תא דלק רגנרטיבי (הקמנו סטארט-אפ שנקרא EnStorage, עם מימון בסך 20 מיליון דולר, ובונים מערכת של 150 קילו-וואט בצרפת).
- בטריות ליתיום-גופרית (פרויקט אירופאי של Horizon 2020).
- בטריות ליתיום ונתרן – אוויר (לטווח ארוך).
- סופר קבלים מימיים ואל-מימיים (מגנט TEPS עם אלביט).
- אנודת ננו חלקיקי סיליקון (מגנט TEPS עם תדיראן ופרויקט אירופאי MARS).
- זרזים לתאי דלק (מפא"ת).



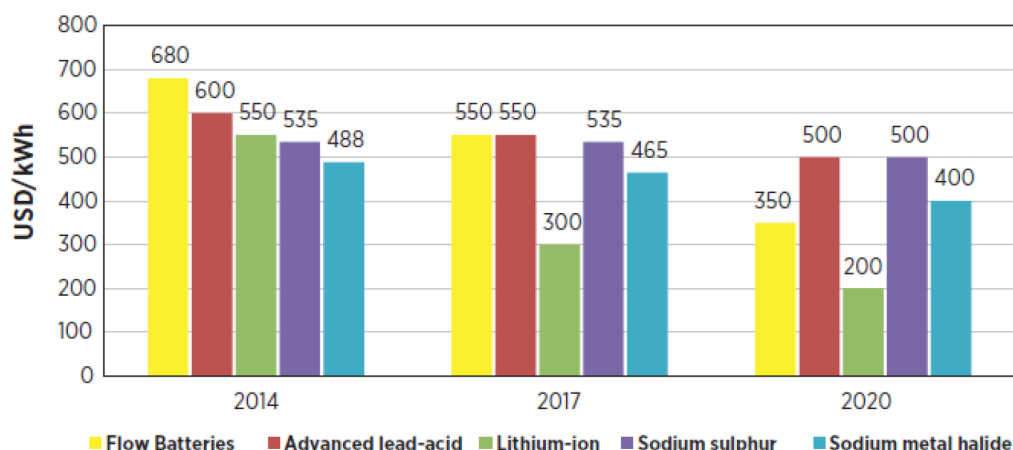
איור 3 - Classification of electrical energy storage for large scale stationary applications

סוגים ומחירים של בטריות לאגירת אנרגיה, אסקור בקיצור רב: באיור 4 מתוארת צפיפות האנרגיה התאורטית של אגירה. ליתיום אוויר נמצא בניסויים מאוד ראשוניים, יש כאן הרבה מאוד קשיים, יעברו עוד 20-30 שנה עד שזה יכנס לשוק. אבץ-אוויר גם בתור recharger יש בעיה, יש בארץ חברה שמטפלת בזה. יש Redox Flow Battery (RFB) שאדבר עליהן בהמשך, יש בהן מעט מאוד אנרגיה אבל הם יחסית זולים. ליתיום-יאון כולכם מכירים. נתון-גופרית שעובד בטמפרטורה גבוהה של כ-300°C. ומצברי עופרת-חומצה.



איור 4 - Classification of electrical energy storage for large scale stationary applications

מה שיותר חשוב הם המחירים. באיור 5 ניתנת דיאגרמה של מחירים בדולרים לקוויט"ש לטכנולוגיות שונות בסקלה של זמן. הצפי הוא שמחירי בטריות הזרימה ירדו, וכך גם הליתיום-יאון שנמכר בהיקפים אדירים ומשמש גם לרוב הרכבים החשמליים. יש חילוקי דעות אם אכן ירד עד 200 או עד כדי 300 USD/kWh.



איור 5 - Lowest current and projected battery cell price by type for utility-scale applications

Source: Navigant Research (Jaffe and Adamson, 2014)

Storage Type	Program/Owner	Capacity	Funding Source
Li-ion Battery ESS	2012 Smartgrid program	0.5	KSGI and End user
Li-ion Battery ESS	2013 Smartgrid program	5	KSGI and End user
Li-ion Battery ESS	2014 Smartgrid program	5	KSGI and End user
Li-ion Battery ESS	KEPCO Frequency regulation	52	KEPCO
Li-ion Battery ESS	Island projects	3	KETEP, KEMCO, Provincial Gov.
Li-ion Battery ESS	Samsung SDI	5.5	Samsung SDI
Li-ion Battery ESS	LG Chem	5	LG Chem
Li-ion Battery ESS	HHI	1	KETEP, HHI, Kokam
Li-ion Battery ESS	LSIS	2	LSIS
Li-ion Battery ESS	KPX FR	8	KETEP, KPX, Hyosung
Li-ion Battery ESS	KEPCO Jochun S/S	4	KETEP, KEPCO, Hyosung, Samsung SDI
Lead-acid	Woojin IS	0.5	Woojin IS
Lead-acid	KERI	0.5	
ETC(Li-ion, Lead-acid)	Jeju Smartgrid Demonstration	5	KSGI and Private
Total battery storage projects		97.0	

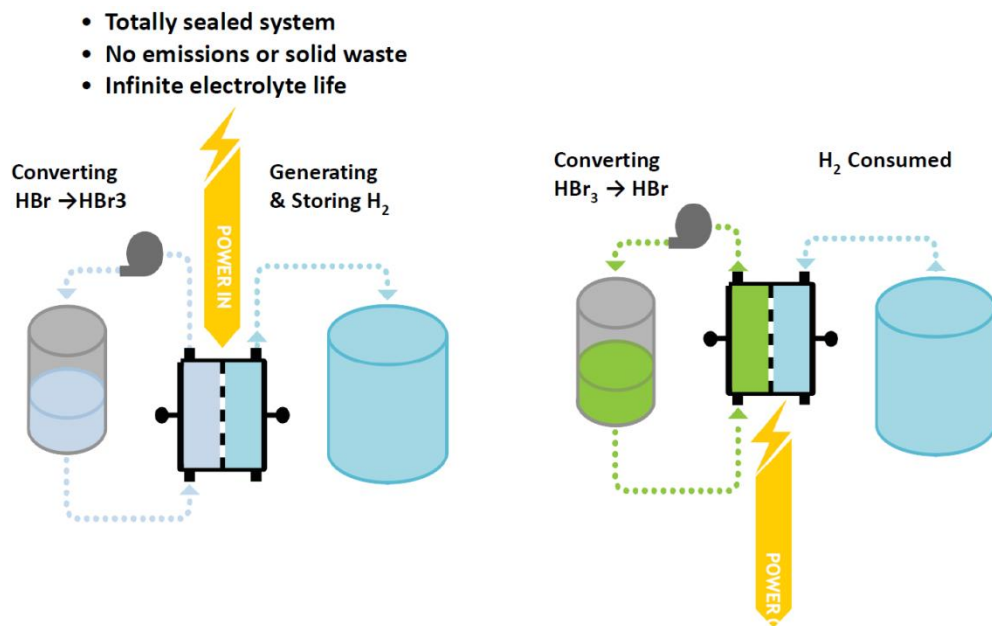
איור 6 - Overview of battery storage projects in South Korea. (ESS Committee of KSGA and Hyosung Corporation)

מבחינת מדינות שהקימו תחנות אגירה, המובילות הן יפן וארה"ב. באיור 6 ניתן לראות מה קורה בקוריאה. שמתי את זה כאן כדי להראות שרוב האפליקציות הן ליתיום-יאון, אפילו בטירות גדולות בהיקף של 52 מגה-וואט.

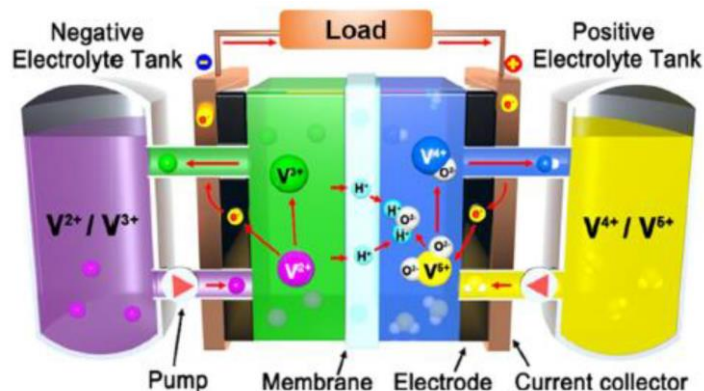
בקליפורניה יש כמה חברות שמתכננות להקים מתקני אגירה גדולים. כיום זה עומד על 2000 מגה-וואט מותקן, מתוכנן להכפיל את זה ב-2.5 עד 2020.

EnStorage היא חברת סטארט-אפ שהקמתי עם שותפים. מערכת האגירה היא מסוג Regenerating Fuel Cell, או Flow Battery. מיכל אחד עם חומצה ברומית HBr , ומיכל שני עם גז מימן H_2 , וביניהם Electrolyzer (איור 7). כאשר רוצים לאגור חשמל - טוענים, מיצרים מימן טרי-ברומיד HBr_3 , ומוציאים גז מימן. וכאשר רוצים להשתמש באנרגיה האגורה, אותו Electrolyzer הופך לתא דלק, ללא כל שינוי. מדובר באותה היחידה, ואז מחזירים את ה- HBr_3 ל- HBr , והמימן הגזי הופך ל- H^+ .

EnStorage חתמה חוזה עם AREVA מצרפת ו-Schneider Electric להקים יחידה של 150 קילו-וואט, היא בבנייה כרגע. ויש חוזה נוסף עם O'Brien & Gere ליחידה כזו גם בארה"ב.



איור 7 - EnStorage ESS system



איור 8 - Schematic view of all vanadium redox flow battery during discharge

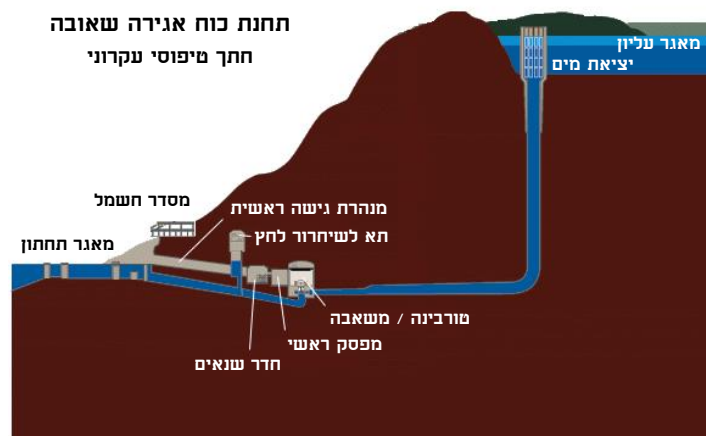
ה-Flow Battery מורכב מתא שיש במרכזו ממברנה. באיור 8 מתואר Flow Battery של V^{2+}/V^{3+} ו- V^{4+}/V^{5+} (Vanadium). שתי תמיסות שמוזנות לתוך תא עם אלקטרודות, וכל האנרגיה אגורה בתמיסות. המתקן באמצע, ה-Flow Battery, רק ממיר את הכימיה לחשמל. בדומה ל-EnStorage, גם פה כל האנרגיה אגורה בתמיסה בצד אחד וגז בצד השני, והמתקן עצמו רק ממיר אנרגיה כימית לאנרגיה חשמלית.

יוחנן אור, אלקטרה בע"מ:

סטטוס פרויקט אגירה שאובה בגלבע

חברת אלקטרה הינה חלוצת היישום של אגירה שאובה הידרו-אלקטרית במדינת ישראל. הפרויקט מבוצע בשותפות של אלקטרה ושיכון ובינוי בזכינות, אלקטרה בנייה ואלקו התק"ש עם סולל בונה בקבלנות, ואלקטרה ושיכון ובינוי ביחד עם ALSTOM בתפעול.

באגירה שאובה הרעיון הוא פשוט – לוקחים חשמל זול בלילה, משתמשים בו כדי להעלות מים ממאגר תחתון למאגר שנמצא בראש ההר, וכאשר יש ביקוש לחשמל ברשת (Peaking), חברת החשמל נותנת לנו הנחיה ואנחנו משחררים מים, אשר מניעים טורבינות המייצרות חשמל בהספק של 300 מגה-וואט. זמן התגובה, שהוא מאוד רלוונטי כאן, הוא כ-90 שניות. כלומר, מרגע שמנהל המערכת מחברת החשמל מבקש ועד שמתווספים 300 מגה-וואט לרשת עוברים 90 שניות, ובהשוואה לכל התחנות הקונבנציונליות האחרות זה בסדר גודל שונה לגמרי.



איור 9 - סכמה עקרונית של מתקן אגירה שאובה

איור 9 מתאר בצורה סכמתית תחנת אגירה, עם מאגר עליון ומאגר תחתון. המאגר העליון בדרך כלל יושב בראש ההר ובמדינות אחרות זה יכול להיות גם תוואי של נהר זורם. מדינת ישראל עניה במים לכן המים מועלים בתחילת הדרך ממעינות ואחרי כן ממחזרים את רובם. כמובן שחלק הולך לאיבוד באידוי. למעשה אנחנו מאבדים כ-600 אלף מ"ק בשנה באידוי, וצריך להשלים את זה כל הזמן.

לפני 4 שנים חיפשתי באינטרנט ומצאתי מצגת של חברת החשמל משנת 1985-6. הראשונים בישראל שהתכוונו לעשות אגירה שאובה היו חברת החשמל, במקום שנקרא אתר 'פרסה' ליד ים המלח. התכוונו לקחת מים מליחים ולהפעיל תחנת כוח של 800 מגה-וואט, עם 4 טורבינות. במקרה שלנו מדובר ב-2 טורבינות של 150 מגה-וואט כל אחת.

כמו שאמרתי, הרעיון היה לתת מענה לשיאי הביקוש. במדינת ישראל בין השעות 07:00 עד 11:00 קיים שיא צריכה מאוד גדול, ואחר כך ב-17:00 בערך ישנו שיא נוסף כשאנשים חוזרים הביתה ומפעילים מכשירי חשמל. האגירה מיועדת לתת מענה לשיאים הללו. חשוב לציין שהיתרון הגדול הוא זמן ההתנעה. בתחנות פחם זמן ההתנעה הוא כ-6 שעות מהרגע שמתניעים את התחנה ועד שיש חשמל בהספק המרבי ברשת. בתחנות הפועלות על גז זה יותר קצר – כשעה.

איור 10 הוא תמונה מאתר פרסה משנת 1985. אגב, למי שבמקרה יסייר באזור הזה – המנהרה עדיין קיימת.

כרגע ההספק שמינהל החשמל במשרד האנרגיה אישר לאגירות שאובות במדינת ישראל עומד על 800 מגה-וואט ועובדים אתם להגדיל את המכסה עד לסדר גודל של 1000 מגה-וואט. אחד הפרמטרים הנוספים שנוצרו מעבר למענה לשיאי הביקוש הוא הכניסה של אנרגיה מתחדשת, שאינה מותנית בביקוש, אלא במזג אוויר. נוצר מצב שבלי כוונה פתאום נוספו לרשת מאות מגה-וואטים שאין מה לעשות איתם, ואז משתמשים בהם כדי לשאוב את המים במתקן אגירה שאובה ולאגור את האנרגיה.

הפרויקט בגלבוע הוא הראשון שהגיע לסגירה פיננסית. מסוף 2013 התחלנו בעבודות ההקמה וביולי 2018 נפעיל את המערכת באופן מלא.



איור 10- בכניסה למנהרת החקר באתר פרסה, פרויקט ים תיכון – ים המלח, עם אורי וירצבורגר (משמאל), מנכ"ל חברת ים תיכון – ים המלח, 1985

מעט פרטים טכניים על התחנה בגלבוע :

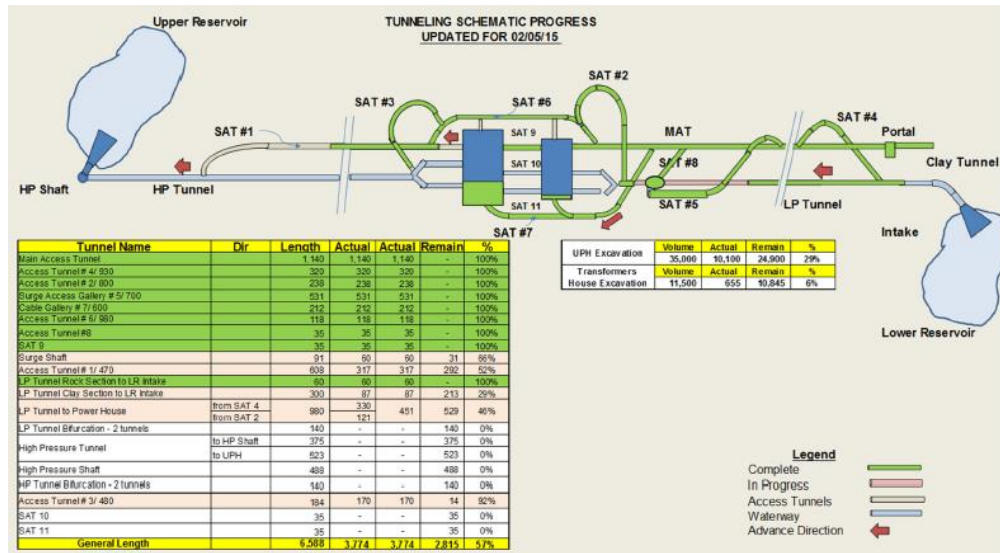
- 300 מגה-וואט הספק עם 2 טורבינות.
- כל מאגר 2.7 מיליון מ"ק, על 350 דונם, בעומק של 18 מטר.
- הציוד הראשי הוא טורבינה\משאבה וגנרטור\מנוע.
- צנרת מקשרת מראש ההר עד לטורבינה, ומהטורבינה למאגר בקוטר 5 מטר.
- מנהרת גישה שדרכה משרתים את כל הציוד באורך של כ-1.2 ק"מ.

באיור 11 ניתן לראות את ההתקדמות עד היום (מאי 2015), מסומן בירוק מה שכבר בוצע. אנו נמצאים לקראת הגעה למה שאנו קוראים 'נקודת הברך' שאלה יורדים המים 480 מטר מתחת למאגר העליון. מבצעים את זה בשיטת Raise Boring – קידוח של הפילוט כלפי מטה בקוטר של 30 סנטימטר, ואז מבצעים קידוח הפוך שמעלה את המקדח כלפי מעלה, ובסוף מרחיבים עד לקוטר הרצוי.

לסיום - סרטון לצפייה לחץ כאן

יובל זהר : הצגת כאן 10 שעות עבודה בהספק מלא. אני שמעתי בעבר מצגת של מנכ"ל הפרויקט שמדבר על 4-5 שעות. זה הפרש עצום.

יוחנן אור : קודם כל, תנאי הרישיון של רשות החשמל הם מינימום 8 שעות ייצור ו-10.7 שעות שאיבה. אנחנו הגדלנו את נפח המאגר ואנחנו מגיעים ל-10 שעות ייצור ו-12 שעות שאיבה.



איור 11 - התקדמות הפרויקט בגלגול עד מאי 2015

עודד אגמון: מתי ההפעלה המסחרית?

יוחנן אור: רשות החשמל בעניין הזה מאוד סכמתית - 72 חודש ממועד החתימה על הרישיון. שר האנרגיה חתם על הרישיון ב-24 ליוני 2012.

אדי בית הזבדי: האם השאיבה היא רציפה או לסירוגין? כלומר שאיבה מלמטה למעלה בצינור אחד ישיר או בתחנות?

יוחנן אור: צינור אחד ישיר.

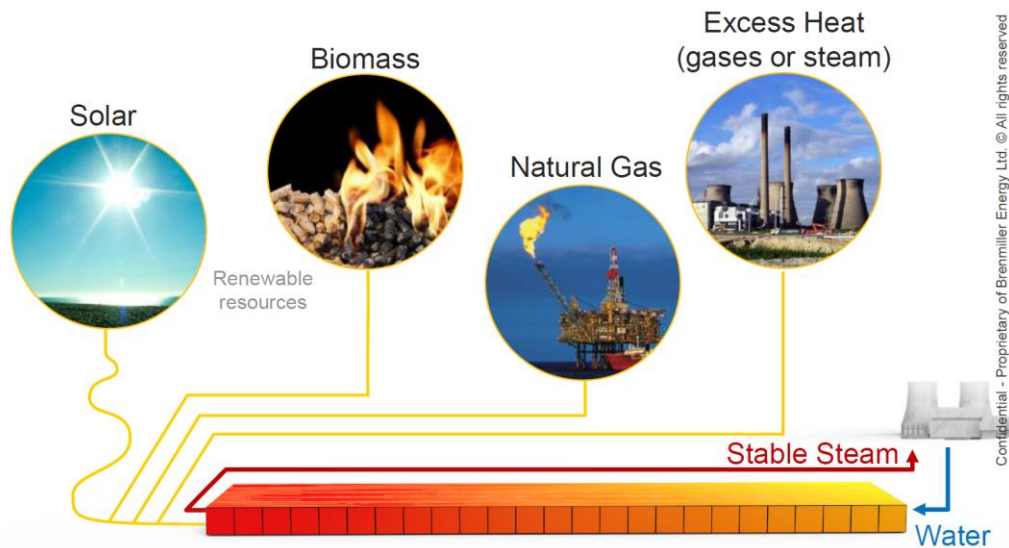
אבי ברנמילר, ברנמילר אנרגיה בע"מ:

Flexible boiler – storing & generating energy from different heat source

אדבר על אגירה תרמית לייצור חשמל. כמובן שאגירה תרמית ניתן לשלב עם קוגנרציה או לייצור מיזוג אוויר. אנחנו פיתחנו אגירה מסחרית שאוגרת את החום. משתמשים בחומר ממשפחת הבטונים, מחממים אותו לטמפ' מסוימת (אצלנו מדובר על סדר גודל של 550°C), 'מזרימים' את החום לתוך אותו 'גוש בטוני' כפי שאני קורא לו, ולאחר מכן מזרימים בו מים קרים יחסית שיכולים להגיע מתחנת הכוח, מחממים אותם ויוצרים קיטור בטמפ' של כ-500°C ובלחץ של כ-100 עד 120 בר, תלוי בדרישות המשתמש. בצורה כזאת יכולים להעביר בין 7 ל-12 שעות אגירה. אנחנו מדברים על מודל של 12 שעות אגירה.

היופי בפתרון הזה הוא שזה נקי, אין כימיקלים, יש רק תהליכים פיזיקליים, יכול להחזיק מעמד להמון שנים אם בונים נכון, והשיטה הזו הרבה יותר זולה מכל מה שאני מכיר בשוק.

ניתן לחמם בכל מיני דרכים. יצאנו לדרך מתוך רצון לחמם סולארית כי זו המומחיות שלנו ורצינו להגמיש את הזמינות של האנרגיה הסולארית מסביב לשעון. אבל אין סיבה שלא לעשות מתקנים היברידיים, למשל, שבהם הסולארי משולב עם ביו-מאסה או גז טבעי או אפילו עם תחנת כח פחמית או גרעינית – חום זה חום. כלומר, אפשר מצד אחד להסיע את החשמל לתחנת אגירה, למשל שאובה, ואפשר פשוט בתחנת הייצור, לאגור את החום ולייצר את הקיטור מתי שצריך.



Brenmiller - Energy Center: How it works – איור 12

מה שאנו רואים באיור 1 הוא סוג של Buffer בין יצור החום לקיטור. זה כמובן מאפשר גם לייצב מערכות סולאריות ואחרות שהן מטבען לא יציבות, כפי שכולכם כאן בוודאי יודעים.

היתרונות:

- מודולרי. ממגה-וואטים בודדים עד מאות מגה וואט.
- קל לתיחזוק; יחידה פאסיבית, אין בה החסרונות שיש לאגירות תרמיות אחרות כמו מלח מותך שחייבים לשמר אותו במצב מותך - מה שלפעמים דורש שריפת דלק אחר.
- ניתן להשתלב בנקודות שונות בתהליך ייצור החשמל בהתאם לעדיפות של אותו מעגל של תחנת הכח שמדובר בה. כפי שאני רואה את זה, כל תחנה עתידית לייצור חשמל הייתה רוצה את היתרון הזה, כלומר שהמבערים ימשיכו לעבוד מסביב לשעון, אבל הקיטור ייוצר מתי שצריך אותו.

עוד כמה מילים על השימושים. ניתן לעשות Load Shifting. הצענו, אפילו ברמה של מדינה כמו דרום אפריקה, להעביר חצי מתחנות הכח הפחמיות לבוילרים מהסוג הזה, ובצורה כזאת לקבל הסבה מאסיבית מלילה ליום בהיקף של 5 גיגה וואט.

יישום נוסף שהופך להיות מאוד אטרקטיבי הוא קוגנרציה. אחת הבעיות במתקני קוגנרציה היא שקשה מאוד לאזן בין צריכות החשמל לצריכות החום. כלומר, בהרבה מקרים זה מאוד משתלם לייצר חשמל מסביב לשעון אבל לא תמיד צריך את החום מסביב לשעון, או להיפך. מתקן כזה מאפשר לייצר חשמל למפעל בשעות השיא, שש שעות ביממה, ולשמר את החום לצורכי קיטור או כל דבר אחר לשימוש בשאר שעות היממה. מה שאני אומר נכון גם לא רק לתעשייה אלא גם לבתי מלון או לכל צרכן אחר של חום וקור וחשמל. אני מאמין שסוג כזה של בוילר יאפשר יישום מאוד נרחב של קוגנרציה כי עד היום רוב הפרויקטים שאני מכיר נופלים על האיוון הזה. גם אם בהתחלה, בשלב התכנון, מתקיים האיוון – מתי שהוא לאורך חיי הפרויקט קורים דברים, מתקנים מתרחבים, המפעל צריך לגדול או שנסגרת יחידת ייצור מסוימת, מופר האיוון והקוגנרציה מושבתת.

לדעתי הכי חכם זה לעשות היברידיזציה, כלומר לחבר כמה מקורות חום. למשל, בארץ ניתן לשלב חום מהשמש עם דלק שמופק מזבל ובסופו של דבר להוסיף את הגז הטבעי, כך שבעצם תחנת הכח משותפת לכולם למרות שהמבערים שונים. אם היינו מנסים כל יישום בפני עצמו היינו רואים שהמספרים לא עובדים, אבל אם בזכות היחידה הזאת נאחד את המקורות, אז נקבל הרבה שעות עבודה בשנה; ה-Capacity Factor יהיה גבוה ואז פתאום כל יישום שנחשב לא כלכלי נעשה כלכלי.

יוחנן אור: מה קצב איבוד האנרגיה?

אבי ברנמילר: כרגע המתקן מתוכנן לקצב איבוד של בערך 5% ב-24 שעות. האיבוד הוא רק דרך הקירות. אם זה קריטי ניתן גם להכפיל את הבידוד ואז מדובר רק ב-2%. אבל בדרך כלל רוב האנרגיה לא אמורה להיאגר שם ל-24 שעות; אוגרים ביום ועד סוף היממה משתמשים בחום.

עמנואל פלד: מה ניצולת ההמרה, נניח מתאים פוטו-וולטאים או תאי שמש אחרים בחזרה לחשמל?

אבי ברנמילר: זה לא מיועד לזה, אנחנו לא מעוניינים להמיר חשמל לחשמל, אלא מחום לחשמל.

עמנואל פלד: בסדר. אז מחום לחשמל מה הניצולת?

אבי ברנמילר: זה הניצולת של הטורבינה שהשתמשת בה.

אדי בית הזבדי: אבל גם מחשמל לחשמל, אם יש חשמל מאנרגיות מתחדשות, נגיד סולארית או רוח, אז אין ברירה, צריך להמיר אותו לחום אם נשתמש בשיטה זו.

אבי ברנמילר: ישנה יעילות הטורבינה. כל השאר זה עניין של כלכלה. אם למשל בקליפורניה ניתן למכור לך אנרגיה מהרוח במחיר של סנט לשעה, אז שווה להשתמש בזה כדי לחמם את האגירה ולהפיק חשמל שנמכר בזמן אחר ב-3 סנט לשעה. כלומר, זה לא עניין טכנולוגי, זה עניין של כלכליות. אולי תרמודינמית זה לא הגיוני, אבל אם הכלכלה עובדת זה מצוין.

עמנואל פלד : כמה אחוז אתה מפסיד ממש באגירה? אתה מכניס הרי גז חם, ומשתמש בו לחמם את הבטון; יש הפסדים בתהליך הזה.

אבי ברנמילר: אין הפסדים בתהליך הזה. בגדול ההפסדים היחידים של אנרגיה תרמית הם דרך הקירות.

גרשון גרוסמן: הקיטור מיוצר בתוך המאגר, בתוך הבטונים? והאם הקיטור יכול לצאת שחון?

אבי ברנמילר: כן. יוצאים מהבטון ב-500°C קיטור. יש לנו מתקן כזה שעובד באופן מלא באזור התעשייה בפארק רותם. הוא כבר עובד יותר משנה ומוכיח את כל הדברים שאמרתי. כלומר, זו לא סתם מצגת יפה, זה מתקן שעובד.

יחנן אור: כמה הוא אוגר?

אבי ברנמילר: זה מתקן קטן. הוא אקוויוולנטי לקולט אחד שלנו באגירה בגודל מלא, משהו כמו 50 kWh. אבל חשוב לאמר שאין scaling-up לזה, כלומר כשרוצים לעשות מתקן גדול שמים הרבה קולטים והרבה מודולים של אותה אגירה.

יוחנן אור: כלומר אפשר גם לאגור 100 MWh לצורך העניין?

אבי ברנמילר: בוודאי. בלי שום בעיה. המתקן הבא שאנחנו בונים הוא מתקן של 1.5 מגה וואט, מחכים לחתימת שר האנרגיה. ואחרי זה אנחנו מתכננים מתקן היברידי הכולל סולארי עם דלק שמופק מזבל עירוני עם תוספת אולי של גז טבעי. כאן מדובר על 10 מגה וואט.

אדי בין הזבדי: באיזו שיטה מופק הדלק מהזבל?

אבי ברנמילר: אין לי זמן לפרט לעומק. בגדול מחטאים את הזבל האורגני והופכים אותו לדלק. בסוף זה סוג של שריפה של הדלק היבש. אין לנו בעיה עם משרד איכות הסביבה בתהליך הזה, זו לא שריפה של זבל באופן ישיר.

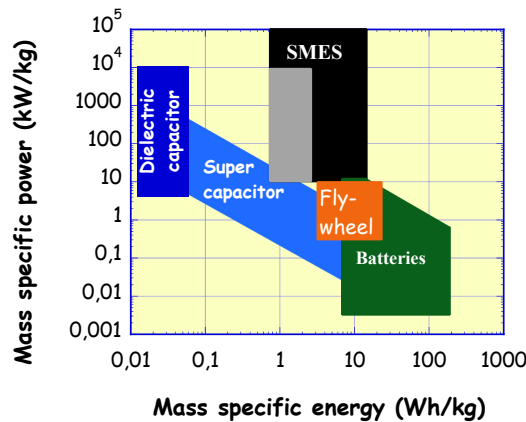
ד"ר שוקי וולפוס, אוניברסיטת בר-אילן:

אגירת אנרגיה בסלילים מוליכי-על

אני רוצה לתאר בקצרה שיטה שאולי פחות מוכרת - אגירת אנרגיה בסלילים מוליכי-על. השימוש העיקרי הוא לשיפור איכות החשמל ולטיפול בהפרעות קצרות זמן. העיקרון הוא שאנחנו לא ממירים את האנרגיה; האנרגיה החשמלית נשארת חשמלית. אין המרה, לא מכאנית, לא פוטנציאלית, לא כימית או כל דבר אחר. בגדול, ברגע שיש זרם חשמלי ששובב בסליל, הוא מייצר שדה מגנטי והאנרגיה נשמרת במרחב כאנרגיה של השדה המגנטי כתוצאה מהזרם. האנרגיה הזאת תלויה בעוצמת השדה המגנטי בריבוע. אם לוקחים חומר שהוא מוליך על (אין לו התנגדות חשמלית) – אז באופן עקרוני הזרם הזה יכול להסתובב במעגל סגור לעולם ועד ללא אובדנים. כשרוצים לנצל את האנרגיה, פותחים את הסליל, ומשתמשים בזרם.

היתרון הגדול של אגירת אנרגיה בסלילים מוליכי-על, שנקראת SMES, Super-conducting Magnetic Energy Storage, הוא העובדה שניתן לפרוק את האנרגיה שנמצאת בסליל במהירות בלתי מוגבלת בעקרון; ההספקים יכולים להיות עצומים. המגבלה היא למעשה רק מתח הפריקה. כלומר המגבלות הן טכניות לחלוטין – מגבלות המתח על המפסקים, והבידוד שבין כריכות הסליל כדי למנוע פריצה.

כשאנחנו מסתכלים על השוואה בין טכנולוגיית ה-SMES לטכנולוגיות אחרות, אנחנו רואים שה-SMES מצטיין ביכולת ההספק הגבוהה. בזה היא מתעלה על כל שיטה אחרת מוכרת, אפילו Super Capacitors.



איור 13- השוואה בין SMES לטכנולוגיות אגירת חשמל אחרות

ההפסדים שנגרמים במשק מבעיות של איכות החשמל הם מאוד גבוהים. מדובר על מיליארדי דולרים בשנה.

עודד אגמון: מאיפה המספרים האלה ידועים לך?

שוקי וולפוס: בחו"ל המספרים מתפרסמים בספרות. חלק מהנתונים ומהמקורות מופיעים במצגת המלאה. בארץ, אני לא יודע כיוון שאין נתונים מפורסמים. אני כן יודע שיש תעשיות שרגישות בפירוש לאיכות החשמל והנזקים מאוד גדולים, לכן הם חייבים להשתמש ב-UPS כדי לשמר את איכות החשמל.

הטכנולוגיה של ה-SMES אינה מוצר מסחרי שאפשר לקנות מוכן; זו טכנולוגיה שנמצאת בפיתוח ויש כמה אתגרים:

- אתגר ראשון הוא האתגר המגנטי: איך לתכנן סליל, האם טורואיד או סולנואיד, כדי לקבל מקסימום שדה, מקסימום אנרגיה אגורה; איך לטפל בקונפיגורציה של הסליל, איך למנוע משדה מגנטי 'לברוח' החוצה למרחב ולסכן את הסביבה, איך לצמצם את טביעת הרגל של המוצר הכולל.

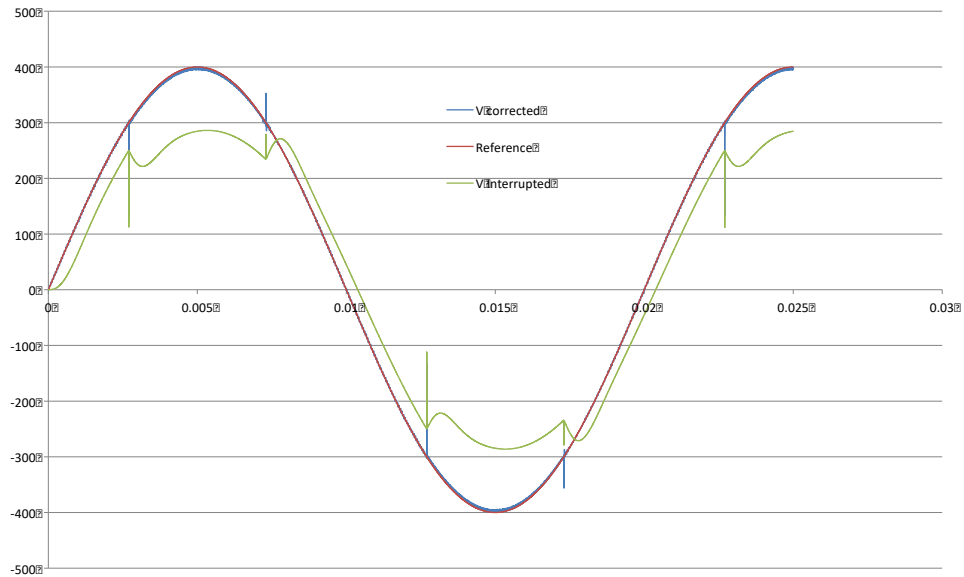
- אתגר נוסף הוא האתגר הקריוגני: מוליכי-על הופכים לכאלו רק בטמפ' מאוד נמוכות של כ-10K או פחות. יש אתגר של קירור בהולכה, או קירור בנוזלים קריוגניים.
- אתגר של פיתוח הסופר מוליך עצמו: איך לבחור את החוט נכון, איך לצמצם את הפסדי ה-AC, איך להגן על הסליל מפני פריקה מקומית.
- אתגר של אלקטרוניקה: איך לפתח את המתגים שידעו לעמוד במתחים הגבוהים, כולל כל המעגלים.

באוניברסיטת בר אילן נכנסנו לתחום זה לפני כ-20 שנה. זה היה הפרויקט הראשון שלנו בשיתוף חברת החשמל ומשרד האנרגיה והתשתיות. הוכחנו את האפשרות לשפר את מערכת החשמל עם מערכת מאוד קטנה שעובדת עם קירור באמצעות חנקן נוזלי. זה היה מתקן 'צעצוע' של 20 קילו-וואט. היום, כשמחירי החוטים מוליכי-העל ירדו לערכים הגיוניים יותר, אנחנו עובדים על פיתוח מתקן של 1 מגה ג'אול בהספק 1 מגה וואט. עובדים על זה בשיתוף פעולה עם גורמים בתעשייה כאן בארץ. הוא יהיה בתכן של סולנואיד עם חוטים מסוג חדש של מגנזיום דיבוריד (MgB_2) שמיוצרים היום, עם קירור בהולכה בטמפ' עבודה של 10K.

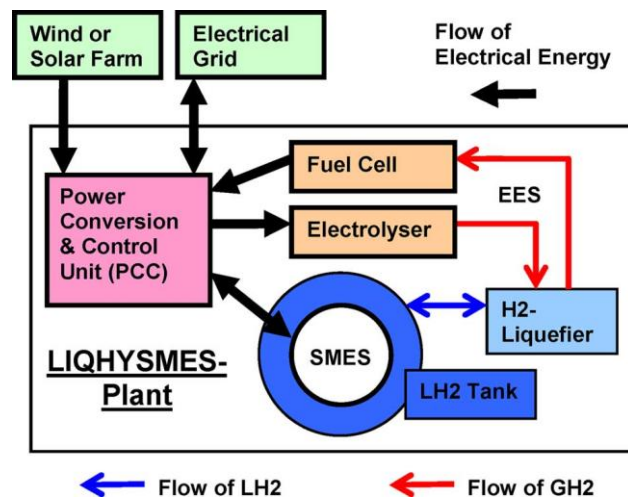
באזור 14 נראית תוצאת סימולציה של העבודה. יש לנו מתח עם הפרעה, ומתח אחרי הטיפול של ה-SMES כאשר בעצם אנחנו כל הזמן פותחים וסוגרים את הסליל כדי לספוג אנרגיה עודפת, ולהזריק אנרגיה חסרה אל הרשת באופן רגעי. כך המחזור כולו הופך להיות מתוקן ונקי, ואל הצרכן לא מגיעות ההפרעות שקיימות ברשת. כלומר, יש לנו מאגר אנרגיה והוא הסליל. קולט עודף ומחזיר חוסר, בהתאם לצרכי הרשת ולבקרת האלקטרוניקה.

מה קורה בעולם? עובדים על פרויקטי הדגמה:

- יש בסין פרויקט של 1 מגה-ג'אול וחצי מגה-וואט.
 - יש פרויקט הרבה יותר גדול ביפן, שם מדובר על 19 מגה-ג'אול ו-10 מגה וואט.
 - יש פרויקט לצורכי הצבא האמריקאי של 1.7 מגה-ג'אול ו-10 קילו-וואט.
- אם נדבר על החזון העתידי של אגירת אנרגיה בסליל – מדובר על התקן אגירה היברידית (איור 15) שיוכל לתת פתרון לכל טווח הזמנים. הרעיון הוא לקחת את הסליל מוליך-העל ולקרר אותו במאגר של מימן נוזלי; בכך משיגים את הטמפ' הדרושה למוליכות-על, ה-SMES יטפל בהפרעות קצרות הטווח, וברגע שגולשים מתחום הביצועים בזמן של ה-SMES, מתחילים להשתמש במימן עצמו כדלק כדי לייצר את האנרגיה הדרושה. למעשה התקן האנרגיה ההיברידי הזה יוכל לספק את כל טווח הזמנים של הטיפול באגירת אנרגיה.



איור 14 - תוצאות סימולציה של תיקון הפרעות חשמליות באמצעות ה-SMES



איור 15 - Hybrid SMES – The Futuristic Vision

אדי בית הזבדי ויוחנן אור: כמה זה עולה?

שוקי וולפוס: היום צוואר הבקבוק הוא המחיר של החוט מוליך-העל. אם רוצים לעבוד עם חוט מוליך-על בטמפ' נמוכה שזה ניוביום-טיטניום (NbTi) מדובר על עליות דומות לאלו של חוטי נחושת אבל הקירור מאוד מסובך כי צריך לעבוד ב-4K. החוטים שאנחנו היום ניגשים אליהם (MgB_2) מאפשרים

עבודה עם מחירי חוטים קצת יותר גבוהים אבל בטמפ' גבוהה יותר של 10K, שהיא הרבה יותר פשוטה להשגה. מדובר על סדר גודל של 50,000 דולר למקרר, 50,000 דולר לסליל, ועם זה אפשר לקבל למעשה הספקים של מ-1 מגה-וואט ועד 10 מגה-וואט או יותר. התחזוקה היא רק בסדר גודל של 5 קילו-וואט שהמדחס של המקרר דורש.

אבי ברנמילר: 5 קילו-וואט קירור על מתקן של 10 מגה-וואט? כלומר 0.05%?

שוקי וולפוס: כן.

גרשון גרוסמן: איזה סוג של מקרר קריוגני?

שוקי וולפוס: Gifford-McMahon הוא מקרר אפשרי טיפוסי. גם Pulse Tube מתאים ויתכנו גם מקררים מסוגים שונים לצרכי טמפרטורות יעד שונות במערכת.

גרשון גרוסמן: מדוע לא משתמשים בחומרים שמגלים על-מוליכות ב-150K?

שוקי וולפוס: מוליך ממגנזיום דיבוריד (MgB_2) עולה בסיבות ה-2 דולר למטר, החומרים ה"חמים" יותר עולים 50 דולר למטר. כלומר הסיבה היא כלכלית.

עודד אגמון: מתי אתה מצפה שזה יהיה מסחרי?

שוקי וולפוס: מבחינתנו, כשמדברים על אותו מתקן של 1 מגה-וואט, אנחנו רוצים להריץ אב טיפוס ואז מדובר על סדר גודל של 3-5 שנים. בנוגע למתקנים הגדולים יותר אנחנו לא יודעים עדיין.

עודד אגמון: ואתה לא מדבר על ההיברידי, אלא בראש ובראשונה על תיקון איכות חשמל בלבד?

שוקי וולפוס: כן.

רון נזר, אביב טכנולוגיות / אינטרדן בע"מ:

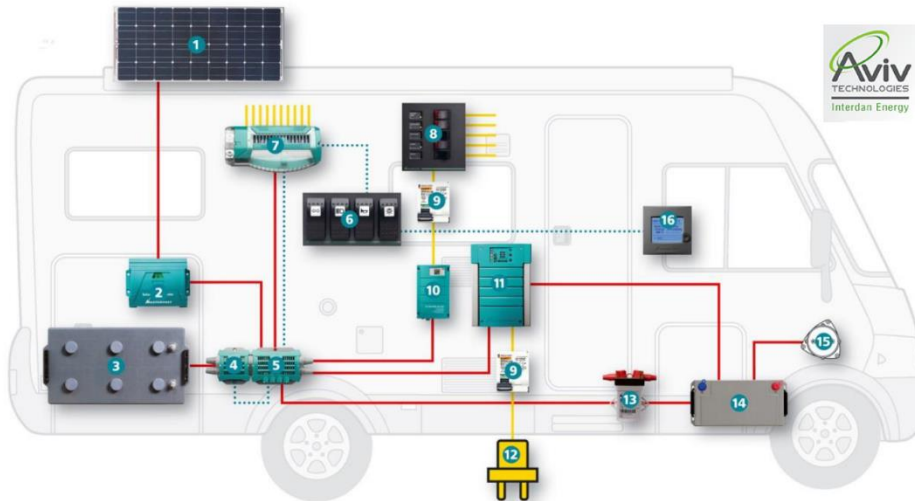
מגמות בטכנולוגיות מצברים לפתרונות ניידים וסטציונריים, כתחליף לתשתית רשת החשמל

אני מנכ"ל אינטרדן אנרגיה. אנחנו בתחום של אנרגיות מתחדשות, במיוחד מה שנקרא off-grid, משנות ה-80. אנחנו היום חלק מקבוצת חברות שעוסקת בייצור בתחום האלקטרוניקה; לא אפרט.

אדבר קצת על הפן היישומי בשטח ועל מה שאנחנו רואים בקו ההתקדמות העתידי בנושא של שימוש באגירת אנרגיה דווקא כאשר אנחנו לא מחוברים לרשת החשמל. הנושא של off-grid, למרות שקיים כבר הרבה שנים, הוא בגידול תמידי. אחד היישומים הוא בתחום ה-HLS – Home Land Security, הכולל מצלמות, גידור, מערכות תקשורת, וכו'.

אנחנו מבצעים פרויקטים במדינות עולם שלישי בתחום התקשורת או בתחום של חשמל לאתרים צבאיים. זה נושא שנמצא בגידול בכל העולם כי המקומות מתפתחים בקצב יותר גבוה מחברות החשמל באזור ולכן יש עוד ועוד דרישה ליישומים כאלה.

באיור 16 מתוארת דוגמה לרכב דווקא, נושא שנמצא בגידול כי יש צורך בניידות של מחשוב מאוד מתקדם ותקשורת, מעבדות ניידות, וכו'. אנחנו מבצעים גם מארזים של אנרגיה - תחום מאוד מתפתח.



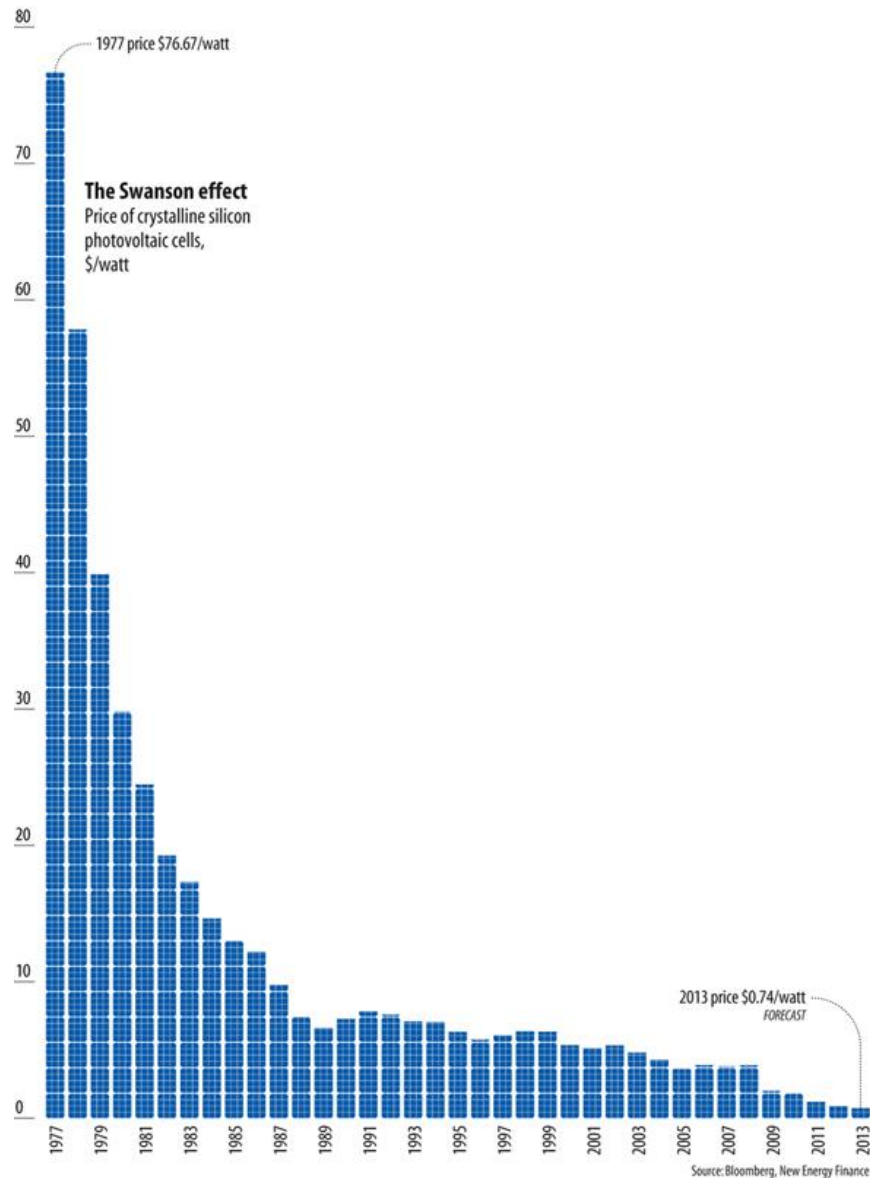
איור 16 - מערכת ניידת בסיסית

אחד הגורמים המובילים הוא עלות ייצור חשמל סולארי, מקור האנרגיה הנפוץ ביותר שאנו משתמשים בו. ניתן לראות באיור 17 איך משנות ה-70 עד ימינו יש ירידה אסימפטוטית בעלות מערכות PV. היום המחיר הרבה פחות מעשירית ממה שהיה. אפילו אם נסתכל רק על ה-3-4 שנים האחרונות, ירדנו מאזור ה-3 דולר לווט, לכחצי דולר. כלומר, עלות ייצור החשמל קטנה מהר מאוד. לאחרונה הגרף קצת מתיישר אבל יתכן שיהיו פיתוחים נוספים שימשיכו את המגמה.

באיור 18 ניתן לראות גרף של טכנולוגיות אגירת אנרגיה שונות. חלקן הוזכרו בפורום זה. הצד הסגול מראה טכנולוגיות שעדיין בתחום הפיתוח, באמצע כאלה שכבר בתחילת יישום, ובירוק כאלה שכבר ביישום מתקדם. הגובה מייצג את העלות. למשל, דיברנו קודם על אגירה שאובה שנמצאת אי שם ימינה כי זו טכנולוגיה זולה וישימה לחלוטין. אנחנו היום עוסקים במצברים בתחום הליתיום; הם נמצאים עדיין בתחום האמצעי. אנחנו מתחילים להיכנס לתחום ה-Super Capacitors וזה נמצא על הגבול לקראת היישום המסחרי.

הסוללות המוכרות ביותר הן מסוג עופרת-חומצה, הן שלטו בשוק משנות ה-90. אבל מסביבות שנת 2000 סוללות מסוג ליתיום-יאון החלו לחלחל לשוק והנתח שלהן בשוק הולך וגדל בקצב מהיר. יש

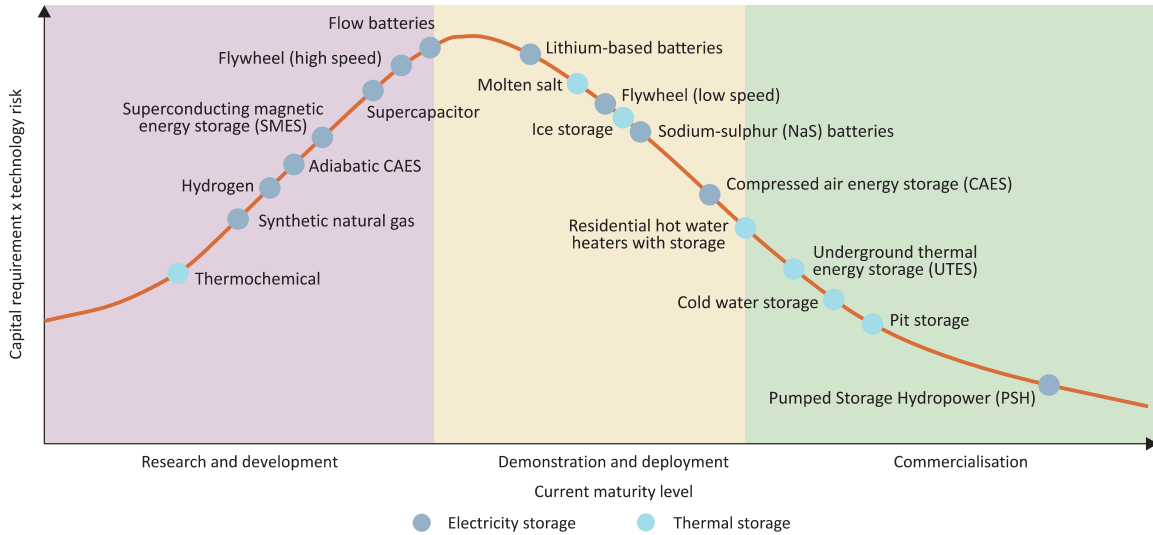
החשים שזהו סוף העידן של בטריות עופרת-חומצה. אבל זה בכלל לא המצב, הן עדיין רוב השוק, יש להן ביקוש רב ועלות נמוכה.



איור 17 - עלות ייצור חשמל פוטו-וולטאי משנת 1977 עד היום

בנוגע לעלויות, נכון שמשנה לשנה בקושי מרגישים את השינויים בעלויות למרות שאנו מצפים לירידה, אבל למשל מ-2000 עד 2014 רואים צניחה בעלויות, פחות או יותר לפי אותו יחס של עליה בכמות הייצור. זו מגמה שאנחנו רואים בהרבה טכנולוגיות, למשל בקולטים סולאריים: כל פעם שיש הכפלה

בהיקף הייצור העולמי, יש ירידה של כ-20% בעלויות לוואט. כנ"ל גם בטכנולוגיות האחרות: אחת הסיבות המרכזיות לירידה במחיר היא הצע וביקוש, חומרי גלם, התייעלות, וכו'.



איור 18 - בשלות טכנולוגיות אגירת אנרגיה

Source: Decourt, B. and R. Debarre (2013), "Electricity storage", Factbook, Schlumberger Business Consulting Energy Institute, Paris, France and Paksoy, H. (2013)

ד"ר דן ויינשטוק, יועץ אנרגיה:

כלי רכב חשמליים כאוגרי אנרגיה לשימוש מערכת החשמל – יתרונות וחסרונות

אני אתן רקע קצר מאוד והכרחי בנושא הרכב החשמלי, ואז אתן שתי דוגמאות, אחת להשתתפות של רכב חשמלי בבקרת תדר והשנייה במטלה הרבה יותר פשוטה של הזרמת אנרגיה; פה אני אתן דוגמא שחוויתי אישית. אומר כמה מילים על יתרונות וחסרונות, ואם תרצו עוד מידע אני אפנה אתכם.

אם נחשוב על רכב חשמלי, מעבר לעובדה שזה מכשיר חשמלי שנמצא בחניה ולא בסלון של הבית, יש לו המאפיינים הבאים. ראשית, הוא נע ממקום למקום. זה פחות טריוויאלי ממה שזה נשמע, גם רכבת נעה ממקום למקום אבל לאורך ציר ידוע, וגם הזמנים ידועים (לפחות ברכבת הגרמנית, איני בטוח לגבי הישראלית). רכב חשמלי - לא ניתן לדעת איפה יהיה, כלומר העומס כאן משנה את מקומו. יש פה decoupling טבעי בין זמן השימוש באנרגיה החשמלית, בזמן שנוסעים, לבין צריכת האנרגיה החשמלית. ובנוסף, גם מספקים אותה לרשת, כמו שאראה בהמשך, בזמן אחר, כשהרכב חונה ומחובר לרשת. רכב חשמלי הוא רכב שאפשר לשלוט על העומס שלו, ובמידה מסוימת ניתן לחזות את הצריכה כי זה קשור בדפוסי הנסיעה. יודעים בגדול מתי אנשים נוסעים ומתי הם חוזרים, סטטיסטית.

מקובל לחלק את הטעינה ל-3 רמות :

- רמה ראשונה - באזור ה-3 קילו-וואט. ניתן להזין את זה בשקע של קיר בסדר גודל של 16 אמפר.
- רמה שנייה - בתחום של בין 10 ל-20 קילו-וואט. זה כבר מצריך שקע וחיווט יעודיים.
- רמה שלישית - מעל 40 קילו-וואט. כאן פרט לשקע וחיווט ייעודיים, גם נהוג שהמטען, כלומר היישור מ-AC ל-DC, נעשה מחוץ לרכב, בניגוד לשתי הרמות הקודמות בהן זה נעשה על הרכב עצמו.

מיותר לציין שעבור סוללה נתונה עם כמות מסוימת של קוט"ש, כמובן שככל שהספק הטעינה גדול יותר, משך הטעינה קצר יותר. זה לא בהכרח לינארי אבל כדי להמחיש קצת במספרים, אם ברמה הראשונה עם הספק טעינה של 3 קילו-וואט בלבד משך הטעינה יכול להגיע לחצי יממה, ב-40 קילו-וואט משך הטעינה ירד לפחות משעה.

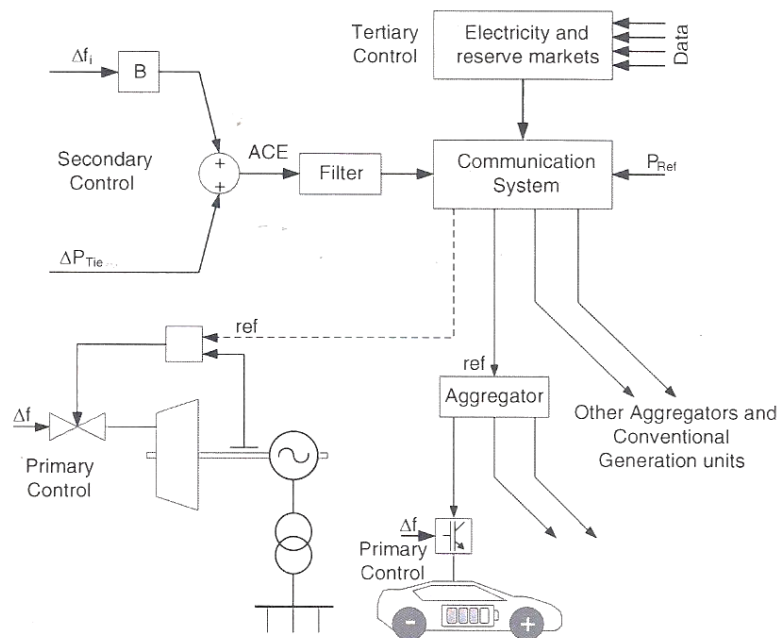
נתמקד ברמה הראשונה, 3 קילו-וואט. הייתי אומר שישנן ארבע גישות טעינה :

- גישה ראשונה זו טעינה 'טיפשה', חיברת – נטען, לא חיברת – לא נטען. בלי שליטה מיוחדת.
- הגישה השנייה זו טעינה מוטת תמריצי תעריף. כלומר, עדיין הטעינה עצמה היא 'טיפשה' אבל האדם שמחליט אם לטעון או לא יכול אולי לקבל את ההחלטה על בסיס תעריף בדומה לתעו"ז.
- גישה שלישית היא טעינה חכמה - כמובן טעינה שבה ניתן לשלוט על קצב הטעינה. ישנה מערכת ניהול אקטיבית באמצעות גוף שהוא סוג של מאגד ששולט על מספר רכבים רב. המאגד הזה יכול להיות חברת החשמל או גוף ייעודי כלשהו; זה כבר עניין של רגולציה מקומית. בעצם המטרה של אותו מאגד היא לקבץ מספר גדול של כלי רכב. כדי שתקבלו תחושה – נניח כי 10,000 כלי רכב חשמליים שקולים ל-30 מגה-וואט. 100 אלף כלי רכב חשמליים שקולים כבר בערך לתחנת הכוח של יוחנן אור (אגירה שאובה בגלבע).
- גישה רביעית – V2G (Vehicle to Grid) – זה שכלול של טעינה חכמה (יש גם V2B שזה Vehicle to Building). פה לא רק שולטים על קצב הטעינה אלא גם ניתן להפוך את כיוון הזרימה ולהזרים הספק מהרכב לרשת. זה כמובן מותנה בחומרה המתאימה, נדבר על זה בהמשך.

עד כאן הרקע. אני רוצה לתת דוגמא להשתתפות של רכב חשמלי בבקרת תדר. אני חושב שיש כאן מספר אנשים שמתמצאים בשליטה על תדר במערכת חשמלית, אבל למי שלא מכיר, הייתי אומר שיש שלוש רמות – בקרת תדר ראשונית, משנית ושלישונית. הראשונית נכנסת לפעולה, אם היא מצליחה - מצוין, אם לא - המשנית נכנסת לפעולה ואם גם היא כושלת אזי הבקרה השלישונית נכנסת לפעולה. בקרת תדר ראשונית מזכירה בקר P : השינוי בהספק שצריך לעשות הוא **פרופורציונאלי** למינוס השינוי בתדר. כלומר, אם התדר ירד צריך להזרים עוד הספק, ולהפך, אם התדר עלה צריך להפחית בהספק, בפרופורציה מסוימת. בקרת תדר משנית מזכירה בקר PI , כלומר גם **פרופורציונאלי** לתדר וגם **לאינטגרל** של התדר, דרך גודל שנקרא ACE (Automatic Control Error). לא אכנס לזה עכשיו - זה

לא קשור לרכב חשמלי, אלו שיטות בקרת תדר קלאסיות שמלוות את עולם החשמל עשרות רבות של שנים.

אם נסתכל באיור 19, ניתן לראות בצד שמאל גנרטור (כמובן - במערכת החשמל ישנם כמה עשרות כאלה), וכל גנרטור תורם לוויסות התדר. אבל אם נסתכל על רכב חשמלי בתור סוג של גנרטור, אז גם הוא יכול לתרום את תרומתו, ומי שייתן את אות הבקרה זה אותו מאגד לכל צי הרכב שהוא שולט עליו. הרכב החשמלי גם יכול להשתלב בשתי הבקורות האחרות, אבל אין לי זמן לגעת בזה היום.



איור 19 - Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks. Springer, 2013, page 168

הדוגמא הבאה שאני רוצה לתת היא השתתפות של רכב חשמלי בהזרמת אנרגיה. לפעמים הבעיה היא לא כה דרמטית כמו תדר, אלא סתם חוסר אנרגיה ברשת. לדוגמא, ביום חמישי ה-1 ביוני 2006 בשעות אחה"צ (הייתי אז ראש מינהל החשמל במשרד האנרגיה), יצאו מפעולה שתי יחידות ייצור פחמיות, שתי תקלות בלתי תלויות, אחת ברוטנברג ואחת באורות רבין. כל השמועות שהיו על קונספירציות של וועד העובדים נבדקו ונשללו. אבל עם ישראל לא הרגיש בתקלה, כי כמו שכולנו מכירים את אופי הפעילות של מדינת ישראל, ביום חמישי אחה"צ מטבע הדברים מתחילה ירידה בהספק הכולל של המדינה. מקומות העבודה יורדים, פחות עובדים ביום שישי. אבל עם ישראל הרגיש בהפסקות חשמל ביום ראשון בסביבות 11:00 בבוקר, כי ביום ראשון עם ישראל חוזר לעבודה, העומס מתחיל לעלות, ואותן שתי יחידות ייצור, שהתקלות בהן היו משמעותיות ואי אפשר היה לתקן במהלך סוף השבוע, היו חסרות, והמחסור הורגש רק ביום ראשון בבוקר. הפסקות החשמל האלו ליוו את מדינת ישראל יומיים, יום ראשון ושני, כ-25% אחוז מהאוכלוסייה הרגישו אותן. היו תלונות בעיתונות, אני עצמי הייתי יו"ר וועדת הבדיקה, דרמה גדולה. בסה"כ האומדן של כמות האנרגיה שלא סופקה באותם יומיים עומד על

קצת יותר מ-5210 מגה-וואט-שעה. כמובן שאז לא היו כלי רכב חשמליים וגם היום יש מעט מאוד הודות לפיאסקו של בטר פלייס - יש בסביבות ה-1000. אבל אילו היו כלי רכב חשמליים, כמות לא גדולה מאוד, כ-100 או 200 אלף כלי רכב חשמליים, ואם היו מקבלים את הבקשה "תטענו ככל יכולתכם", למשל עם תמריץ של חשמל חינם בסוף השבוע לכל מי שרוצה, אבל ביום ראשון בבוקר יש להחזיר חלק גדול ממנו – אז מכותרות גדולות בעיתונות וועדת בדיקה, זה היה הופך לידיעה בעמוד 18. 200 אלף כלי רכב חשמליים אולי נשמע הרבה, אבל במדינת ישראל, למי שלא יודע, יש למעלה מ-2 מיליון כלי רכב בסה"כ (רובם לא חשמליים), כלומר אנחנו מדברים רק על 10%. וגם אם לא 200 אלף, אלא רק 50 אלף כלי רכב חשמליים, אז היינו יכולים לצמצם את הבעיה.

לסיכום - יתרונות: אני חושב שבהשוואה לכל הדוגמאות האחרות והמעניינות ששמענו פה, או שיהיו רכבים חשמליים, או שלא, אבל אם יהיו, אזי הסוללות כבר קיימות. יש בקרה ואלקטרוניקה שצריך לשלוט עליה, אבל לא צריך את אמצעי האגירה הנוספים, הם יהיו קיימים במילא. במדינות אחרות רכב חשמלי מתקדם די יפה.

חסרונות: ראשית, מפעילים את הסוללה יותר ממה שהתכוונו בפעולה רגילה של רכב חשמלי, יש דגרדציה של הסוללה, כלומר כל מיני שאלות משפטיות ומסחריות בתלות למי שייכת הסוללה. בנוסף, דרוש ממיר דו כיווני ברכב. באופן טבעי צריך רק מיישר מ-AC ל-DC, אבל אם רוצים גם להזרים חשמל לרשת, צריך גם מ-DC ל-AC. אמנם זה לא מאוד מסובך, אבל מנקודת המבט של ייצרני הרכב אין תמריץ לעשות זאת.

יוחנן אור: איך אתה מזרים את החשמל בחזרה? האם דרך אותו שקע שטוען את הרכב?

דן וינשטוק: כן, זה דו כיווני.

אבי פלדמן: האם יש הערכה לגבי היקף התפוקה של תחבורה ציבורית ורכבים מסחריים, כלומר לא פרטי? בהנחה שהם היו חשמליים כמובן.

דן וינשטוק: אני אגיד לכם מה החיסרון העיקרי של תחבורה לא פרטית. תחבורה ציבורית היא יעילה יותר במובן הזה שהיא נוסעת הרבה. אם היא נוסעת הרבה, היא פחות מחוברת. לכן באופן טבעי, נכון שיש לה יתרון של כמויות יותר גדולות, אבל יש לה פחות פוטנציאל להזין לרשת, ורק במובן הזה היא פחות טובה. בכל מובן אחר היא עדיפה.

נועם אילן: אבל מעבר ליתרונות של 200 או 300 אלף רכבים חשמליים, האם יש גם חסרון לרשת? כלומר האם הרשת יכולה להתמודד עם זה?

דן וינשטוק: כן. יש בעיות, ויש להן פתרונות.

עודד אגמון: האם בעולם משתמשים בזה, או שכרגע זה משהו שנמצא רק בספרים שלך?

גרשון גרוסמן: ראיתי בספרד, ליתר דיוק בחבל הבסקים בבילבאו, פרויקט בדיוק כזה. אני לא יודע באיזה סדר גודל.

דן וינשטוק: אני יכול לענות לך, אבל יושב לידי עמק שדות שהוא יועץ של רשות החשמל; נכון, של אגף אחר, לא שלך; אבל הוא יודע טוב מאוד מה קורה בעולם. תשאל אותו מה קורה באירופה.

עמק שדות, יועץ אנרגיה:

תחרות בינ"ל ברשת חכמה

יש כמה פרויקטים כאלה בעולם. מה שדן וינשטוק אמר בסוף הוא נכון: צריך לתת תמריצים לתעשיית הרכב. אין שום אינטרס ליצרני הרכב כרגע שיהיה ברכב ממיר בכוח הפוך. ועוד יותר גרוע, כשמחזירים חשמל – מספר המחזורים, כלומר אורך החיים, של הסוללה יורד. תעשיית הרכב צריכה להשקיע בנושא, גם להשקיע מעט באלקטרוניקה וגם בסוללה. תאורטית זה עובד, וגם מעשית.

אני רוצה להתמקד במה שקורה בעולם. יש תחרות בין לאומיות לרשת חכמה – בעוונותיי אני שופט בתחרויות האלה. שני ארגונים גדולים ונחשבים (לפחות בעיני עצמם) מובילים את זה. הראשון הוא International Smart Grid Action Network, והשני הוא Global Smart Grid Federation. אלו שני גופים בלתי תלויים שמקדמים את נושא הרשת החכמה. באופן קצת מפתיע הם הצליחו להתאחד ברצון שלהם לקדם רשת חכמה, ולא אכנס בדיוק לשאלה מה ההגדרה של רשת חכמה כי אם נשאל שלושה יהודים נקבל עשר דעות. הם הקימו תחרות בינלאומית של פרויקטים, ודרך אגב אני חושב שכמה מהחברים פה צריכים לשקול להשתתף בשנה הבאה. למי שיש פרויקט, פיילוט, לאו דווקא מסחרי (בדרך כלל זה לא מסחרי), בוא תציע את זה לנו ואנחנו נבחן, עם 5-6 שופטים מכל העולם, כמוני ועוד כמה, ולפי כל מיני קריטריונים נקבע אם הפרויקט טוב, ואם נבחרת זכית בהכרה. אין פה פרס כספי.

ב-2013-2014 יצאו עם התחרות הראשונה, וב-2014-2015 יצאו עם התחרות השנייה. אתן סקירה מאוד קצרה על שתי התחרויות ומעט תובנות.

התחרות הראשונה: צריך לבחור על מה זה בכלל – הוחלט שהראשונה היא בנושא של Customer Engagement, כלומר איך 'מוכרים' את המוצר ללקוח הפוטנציאלי. הוגשו מעל 40 פרויקטים שעוסקים בתחום הזה. בסוף נבחר אחד, והשני היה צמוד.

אני אספר על שתי מגמות מובהקות שיצאו מכל הפיילוט האלה: יש כאלו שעושים מניה חכמה, עם מונים חכמים ושירותים. הולכים ללקוח הביתי, מתקינים מונה חכם, ונותנים שירותים, מנהלים את החשמל, שולחים מידע, מסבירים שזה יעזור לרשת. בדקו אם ברמה האנושית, כלומר לא הטכנולוגית, מה עובד? למשל לתת סוג של תעו"ז עם שני תעריפים, אחד לקיץ אחד לחורף – משהו שקל להסביר, האם זה יעבוד? אם התעריף הוא פי 6, יעבוד? אם ישלטו ללקוח במזגן, ומוכנים בעד תשלום כזה או אחר להרים את הטמפר' ביום קיץ מ-20°C ל-22°C, האם הלקוח מעוניין או לא? התשובה הייתה שזה מאוד מעניין. במדינות בהן משק החשמל מפותח ויש תחרות והמחיר של החשמל מייצג נאמנה את החשמל עצמו - אנשים מוכנים להירשם לשירותים כאלה.

מגמה שניה הייתה של מיזמים שהעדיפו לא להסתכל באופן פרטני, אלא להסתכל על ה-end-to-end כלומר מהייצור עד האספקה. נחבר את כל מה שיש באמצע, נפתח מערכת בקרה ונתחיל לעבוד ונראה אם אפשר להציע שירותים חדשים, נניח מסחר חדש בסיטונות, כי עכשיו יש לנו שליטה בכל התהליך.

התחרות השנייה: ב-2015 הוחלט ללכת לכיוון של אנרגיות מתחדשות, ותוך כדי עבודה על הנושא הזה נראה כי או שזה לא מספיק, או שזה לא "חי לבד", וכנראה שזה באמת לא "חי לבד", כלומר זה מאוד קרוב לאגירה, ואם כבר מצליחים להגיע לרמת אגירה טובה, אז אולי עדיף כבר להיות מחוץ לרשת. הוגשו כמה וכמה פרויקטים מכל העולם וגם כאן נתגלו שתי נטיות מאוד חזקות. הראשונה הייתה של קבוצות שהתחילו מן הכיוון של אנרגיות מתחדשות, ומהר מאוד הם מתכנסים למסקנה שצריך למצוא סוללה, לבנות בקר כלשהו, לחבר לרשת, ולדאוג שזה יכול לעבוד לכשעצמו. הבעיה עם הנושא הזה היא שזה לא כלכלי. הנושא השני, שבו ניגשו גופים שקצת יותר קרובים לרגולציה ולמשרדים הרלבנטיים, הוא לנסות לקחת מקור אנרגיה מתחדשת, שהיא צפויה אבל לא זמינה תמיד, וכשהיא נמצאת צריך להשתמש בה. איך ליצור מערכת שתדע לטפל בה?

אוסף עוד שלושה דברים מעבר לזה:

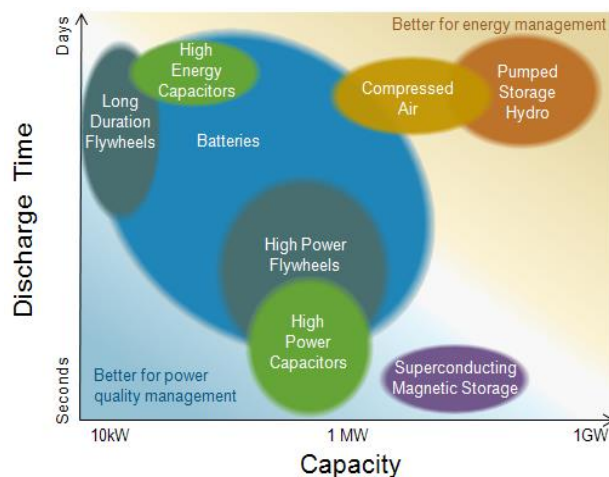
1. מכל הניסיון של השנתיים האחרונות רואים שה-utilities והחברות העיקריות מסתכלות על רשת חכמה כעל מנוע הצמיחה הבא, ומשקיעות בזה המון.
2. לפחות בתחום הביתי, כלומר 2.5 מיליון צרכנים בישראל, יש תחרות מאוד גדולה בעולם בין חברת החשמל (ה-Retailer) לבין ה-Service Provider. בדומה לחברות הסלולר אורנג', בזק, רמי לוי וכו'. בעולם זו נטייה מאוד חזקה. נכנסים בזה ורוצים נתח מהשוק, כמובן בתנאי שהרגולציה מאפשרת. כלומר, נותנים לחברת החשמל לייצר את החשמל, וחברה אחרת תיתן שירותי ניהול בית חכם.
3. לצערי, רוב הפתרונות פשוט לא כלכליים. מדינות צריכות לתת תמריצים כלשהם. אז כן, האיחוד האירופאי קבע שעד 2020, 80% מכל 28 המדינות יתקינו מונים חכמים בבתים. אם זה נכון או שווה את הכסף - אני לא בטוח.

ד"ר מרים לב-און, קבוצת לב-און:

Advancing Implementation of Energy Storage Technologies in the U.S.A

אני אשנה כיוון; לא אדבר על טכנולוגיות, אלא איך באמצעות מדיניות מתמרצים את החדירה של הטכנולוגיות האלה, עם דגש על ארה"ב.

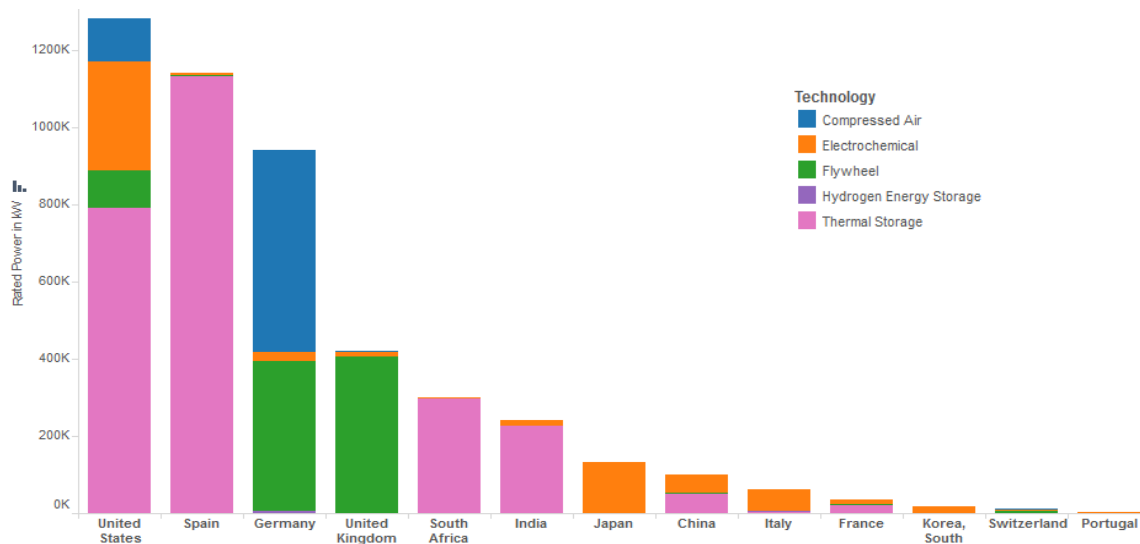
מה הפוטנציאל של אגירת אנרגיה אני לא צריכה לספר לכם. אראה פה רק את המעטפת של הטכנולוגיות השונות, ואני רוצה להדגיש, בעזרת איור 20: מצד שמאל למטה זה סוג הטכנולוגיות שקשורות יותר לאיכות החשמל, ומצד ימין למעלה קשורות יותר לניהול אנרגיה. יש חסמים ובעייתיות עם ההשוואתיות של הביצועים של המערכות השונות.



איור 20 – טכנולוגיות לאגירת אנרגיה

Source: U.S. EIA Dec. 14, 2011, based on Energy Storage Association

כדי לעזור בשטח הזה משרד האנרגיה האמריקאי (DOE) פיתח את ה- Global Energy Storage Database (GESDB) אשר פתוח לכול, [וניתן לגשת אליו בלחיצה כאן](#). הנתונים על קצה המזלג – כרגע ההשערה היא של-1.8% מכל תפוקת החשמל העולמית יש אגירה. ביבשת אמריקה (כולל צפון ודרום) זה יחסית נמוך - 1.6%, באירופה ובאסיה זה 6.2%-4.0%. צד אחד של ה-GESBD הוא לסקור את הטכנולוגיות השונות, היקפן והיכן מיישמים אותן. צד שני הוא סקירת אמצעי המדיניות והחקיקה שקיימת היום כדי לתמרץ את ההחדרה של הנושא הזה. נכון לאוגוסט 2014 יש בעולם כ-145 גיגה-וואט מותקן של יכולת אגירה. מעל 90% מזה היא אגירה שאובה בכל העולם. אגירת חום היא בערך 1%, ה-Flywheel כ-0.7%, וסוללות אוויר דחוס כ-0.3%. אם נשים בצד את האגירה השאובה שהיא הפיל הגדול, באיור 21 מוצג איך מתפלג היקף היישום של הטכנולוגיות האחרות בעולם. בארה"ב יש קצת אוויר דחוס; הרוב הוא אגירה תרמית. בספרד כמעט הכל אגירה תרמית. ביפן הערכים נמוכים למרות שנאמר כאן שהיקף האגירה ביפן גבוה; כנראה שמדובר באגירה שאובה.



Energy Storage Technologies By Country w/o Pumped Hydro – איור 21

Source: www.sandia.gov/ess/database

יש הרבה חסמים ליישום, לא רק כלכלית, גם מבחינת רגולציה, ושאלות האם האגירה נופלת תחת הקטגוריה של ייצור? זה אחד הנושאים שמתמודדים איתם היום בעולם. בארה"ב יש הרבה עיסוק בנושא. אחד הדברים שחשוב לי להדגיש כאן זה חוסר הסטנדרטיזציה בחישוב של היכולות של מערכות האגירה השונות ואיך הן יכולות להשתלב במערכות החשמל הקיימות.

שני דברים נעשו לקראת זאת. האחד - משרד האנרגיה האמריקאי (DOE) ביחד עם EPRI (Electric Power Research Institute) הוציאו לאור ספר Electricity Storage Handbook. המהדורה הראשונה יצאה ביולי 2013, ועובדים עכשיו על עדכון שמתוכנן לסוף 2015. הספר מדבר על כל הנושאים שתיארנו פה, ועל השירותים הספציפיים שניתן לקבל מהנושא של אגירה.

הדבר השני שמאוד חשוב הוא פרוטוקול, תקן בינלאומי:

Protocol for Uniformly Measuring and Expressing the Performance of Energy Storage Systems.

http://www.sandia.gov/ess/docs/ESS_Protocol_Rev1_with_microgrids.pdf

הגרסה הראשונה יצאה ב-1 ליוני 2014. הפרוטוקול מסביר באופן מאוד מפורש ומדוקדק איך לחשב ולדווח על הביצועים של המערכת כתלות באופן השימוש (Frequency Regulation, Peak shaving, PV Smoothing, Microgrids, וכו'). בצורה זו יהיה גם יותר קל לבצע השוואה בין טכנולוגיות.

אדבר עכשיו על כמה דברים שנעשים כדי להתגבר על המכשול הכלכלי. קודם כל ה- Federal Energy Regulatory Commission, הנציגות של הרגולציה של אנרגיה בארה"ב, הוציאה צו שאומר שכל ה- Transmission Providers (חברות ההולכה) מוגדרות כיצרני חשמל וזה מאפשר להם להשתמש בכל החוקים הקיימים וההסכמות שישנן בקשר לגנרטורים ומה שביניהם. זה דבר מאוד חשוב התורם לאחידות של הטיפול בנושא הזה.

בנוסף לזה יש הטבה במס הכנסה בארה"ב על ההשקעה. משרד החקלאות נכנס לעניין כדי לנסות לעזור לחקלאים שצורכים הרבה אנרגיה להשתמש באנרגיות מתחדשות. בנוסף, ה-DOE נותן מענקים למחקרים ואבי-טיפוס של טכנולוגיות חדשות בנושא אגירה, בין היתר.

עודד אגמון: האם הציבו יעדים?

מרים לב און: בחלק מהמדינות בארה"ב. אין יעדים לכל האגירה בארה"ב כולה.

קליפורניה פיתחה מפת דרכים לקדם את הנושא של אגירת אנרגיה. זה יצא רק לפני שנה. היעד של קליפורניה הוא 1,325 מגה-וואט מותקן עד שנת 2024 כאשר החובה חלה על חברות ייצור חשמל הנסחרות בבורסה.. זה כולל Permanent Load Shifting ו-Self-Generation Incentive Program כדי לעזור להם לא רק להתקין את המערכות האוגרות, אלא גם שהחברות יעזרו לצרכנים שלהם לאגור. כמו כן, קליפורניה הקציבה הרבה כספים למחקר לשיפור הביצועים של המערכות הללו.

טקסס הוציאה חוק ב-2011 שמאמץ את מה שנאמר בחקיקה הפדרלית, כלומר להגדיר מתקני אגירה כמתקני ייצור, וזה מאפשר להם לספק את כל השירותים הרלוונטיים. ה- Electric Reliability Council of Texas הגדיל לעשות וחקק ב-2012 שהעלות של החיבור חלה על חברות ההולכה, ושחשמל הוא מוצר מסוג wholesale, מכיוון שהחברות לא צורכות את האנרגיה שנאגרת, אלא רק מספקות אותו כאשר הוא נמסר לרשת בשלב מאוחר יותר.

עמק שדות: האם את מכירה עוד מקום בעולם בו הוכרז או חוקק שאגירה נכנסת תחת הקטגוריה של ייצור?

מרים לב און: לא, פרט לארה"ב היכן שזה מופיע בתקנות הפדרליות החלות על כל ארה"ב. חשוב לזכור את המאפיינים של טקסס: הם מין אי אנרגטי. הם מוכרים אנרגיה למדינות אחרות אבל לא קונים חשמל מאף אחד – יש להם רשת חשמל נפרדת לתצרוכת הפנימית שלהם.

בניו יורק יצרו שיתוף פעולה בין The New York State Energy Research and Development Authority לבין Con Edison. הם הנהיגו שיטת תמריצים לצרכנים. הם מציעים 2100 דולר לקילו-וואט של אנרגיה חשמלית, או 2600 דולר לקילו-וואט של אנרגיה תרמית. זה כבר בתוקף וצריך להיות מיושם במדינה. כדי לקבל את הכסף, כל הפרויקטים הרלוונטיים צריכים להיות מוכנים לפעולה עד ה-1 ליוני 2016.

לסיכום: יש להנהיג פרוטוקולים ותקנות כדי לקבוע בדיוק איך להתחבר, ולקבוע את הנצילות של המערכות כדי שאפשר יהיה להשוות בין הטכנולוגיות השונות. צריך שתהיה מדיניות ממשלתית שמגדירה בדיוק מה המטרות: או לחברה שמייצרת את האגירה, או לאפשר תמריצים לצרכנים שיישמו אגירה במפעלים שלהם.

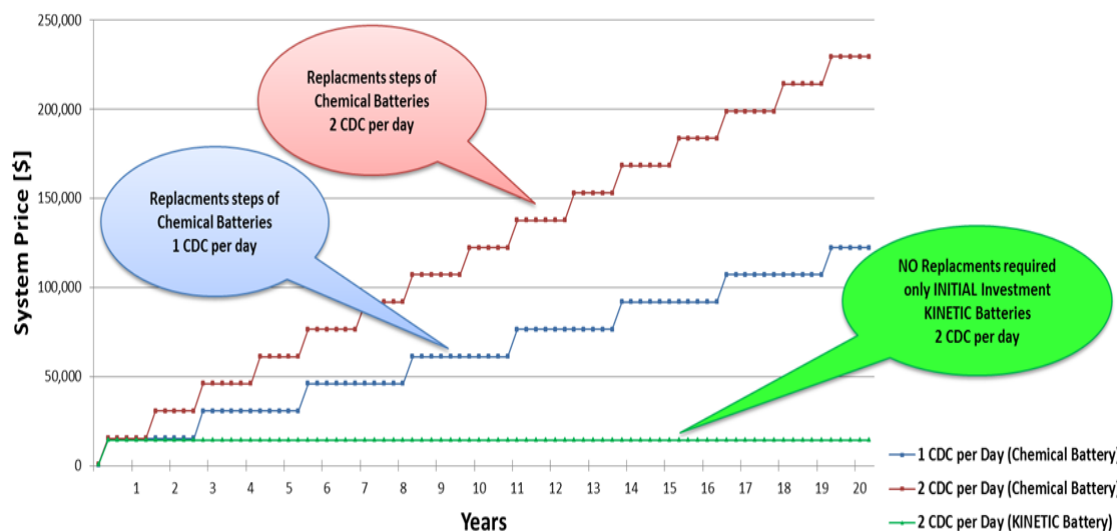
אדי בית הזבדי: אני נמצא יותר מ-29 שנים במשרד האנרגיה ודרך השנים נחשפתי גם לטכנולוגיות של אגירה אבל לצרכני קצה. אני כמעט שלא רואה עיסוק בנושא הזה. אנחנו מדברים על אגירה של מתאן במתקני טיהור שפכים, ואז ייצור חשמל בשעות שיא. אנחנו מדברים על פרויקט שליווייתי למעלה מ-8 שנים באחד מסניפי בנק דיסקונט בתל-אביב של אגירה לצורך ניצול תעו"ז באמצעות סוללות בלילה. נתנו מענק לפרויקט הזה. אגירה תרמית, בין אם אגירת קור או חום – יש מתקן במת"מ חיפה שבו אוגרים קור; תמכתי בזה לפני כ-15 שנים. אגירה תרמית של מים חמים בדודי שמש זה משהו שיש כמעט לכל אחד בבית. כל הדברים האלו קיימים, אנחנו כבר שם בנושא אגירה. מה שאני שומע פה הוא בעיקר התייחסות לאגירה בכמויות, ואגירה של חשמל.

ד"ר דן שגיא:

פיתוחים לאגירה חשמלית ברותם תעשיות ובקפיטל נייצ'ר

אני אדבר על מיזמים קצת שונים ממה שדיברנו עד כה, בשתי חברות: קפיטל נייצ'ר ורותם תעשיות. הפעילות הראשונה היא ב-Chakratec, גלגלי תנופה. לא רק לזמנים קצרים, אלא גם בתחום של אגירה לדקות ואפילו לשעות. יש מתקן פיילוט שכמעט מוכן להפעלה של 6 קילו-וואט, 12 קילו-וואט-שעה; הוא בערך בגובה של אדם, כלומר הוא נייד וניתן להתקנה בכל מקום. באיור 22 ניתן לראות את הכלכליות שלו, ובהנחה שסוללות צריך להחליף כתלות במספר המחזורים שהסוללה עוברת. אם מדובר על סוללות שנטענות ונפרקות פעם אחת ביום, כבר אחרי שלוש שנים גלגלי התנופה האלה מתחרים בהן. בניגוד לסוללות, לא צריך להחליף אותם, התחזוקה אפסית, המחיר שלהם נשאר קבוע לאורך הרבה שנים; התכנון ל-20 שנות תפעול של המערכת.

המערכת השנייה שאני רוצה לתאר קצת פחות מוכרת. החברה נקראת ThermaSphera. זו מערכת שדוחסת CO₂ באופן איזותרמי; אין כמעט איבודי אנרגיה. כל החום נאגר ב-PCM (Phase Change Material). בשלב הפריקה ה-CO₂ מקבל את רוב החום מה-PCM, מתחמם ומתפשט ודוחף את אותן הבוכנות שדחסו אותו בשלב הקודם, וכך מייצרים חשמל. כלומר זו אגירה חשמל-חשמל. אתייחס קצת לחומר אוגר החום כי זה עיקר הידע פה. זה תהליך של הטמעה של PCM בתוך חומר על בסיס גומי בצורה של כוורת. המבנה מאפשר הזרמה דרך הכוורת. המודול של המערכת מתוכנן להיכנס לקונטיינר סטנדרטי בודד ולתת 50 קילו-וואט, 200 קילו-וואט שעה. המידות על הקרקע הן: 4.5 מטר X 4.5 מטר.



Battery Total Cost of Ownership (TCO) vs Charge Discharge Cycle (CDC). The battery used as comparison - איור 22 - is MSJ200 by CSB.

Terragenic היא המערכת הבאה שאני רוצה לתאר. מדובר במערכת של סוללות, אבל לא דומות ל-Flow Batteries שהוזכרו קודם. המערכת מחברת מימן עם מתכת מעבר (מגנזיום במקרה זה), ומייצרת תמיסת בורו-הידריד, יציבה לגמרי בטמפ' החדר. המערכת הזאת מפיקה אם כן נוזל המכיל מימן בריכוז המקביל ל-600 אטמוספירות של מימן גזי. בעיקרון, ההפקה של מימן חזרה מהמערכת הזאת מתבצעת פשוט על ידי הכנסה של קטליסט, ולפי שטח הקטליסט שחושפים ניתן לשלוט על כמות המימן המופק שמוזרם לתא דלק. מערכת כזאת יכולה להחליף דלק. ייצור ה"דלק" יכול להיות מרכזי או מבוזר, אין בעיית שינוע. מכונית יכולה לנסוע עם הדלק הזה בצורה בטוחה לחלוטין, גם במקרה של תאונה.

עמנואל פלד: לא ברור מה הנוזל? אמרת שזה נאגר במגנזיום-הידריד.

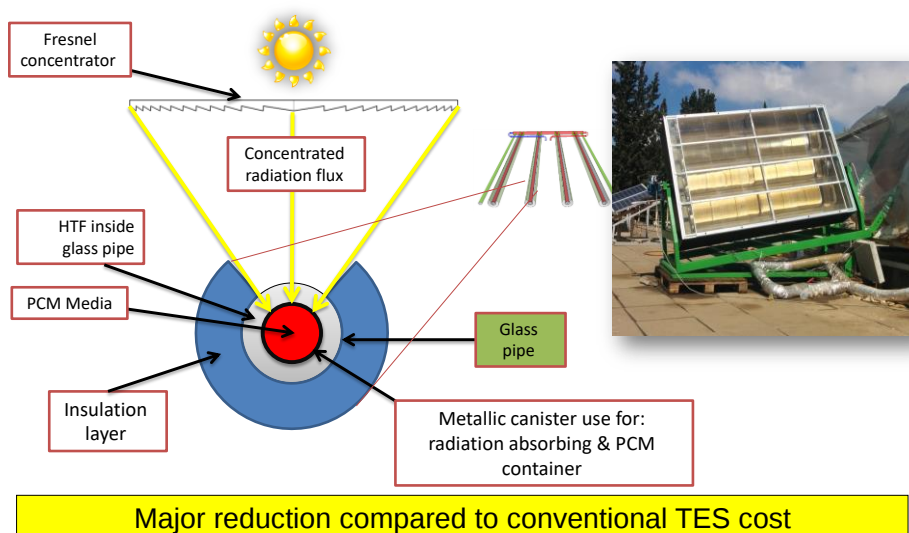
דן שגיא: לא. זה נאגר בבורון-הידריד.

באיור 23 ניתנת השוואה כללית מול ה-Flow Battery. סה"כ ה-Round Trip Efficiency כרגע נמוך אבל מתוך זה 60% לקחנו לתא הדלק. ההמרה של המימן פנימה והחוצה היא כמעט ביעילות מלאה.

	Terragenic	H2 Electrolysis	LAES	Flow-Batteries
Round-trip efficiency	39-41%	35%	60%*	85%
Discharge cycles	Unlimited	Unlimited	Unlimited	Limited
Energy Density Wh/Kg	High	High	Medium	Low
Power Density W/Kg	High	High	Medium	Low
Safety	Absolute Safety	Flammable, Explosive	Acceptable	Dangerous reactants
Utilization	Multiple revenue streams	Back to grid	Back to grid	Back to grid
LCOE (C/KWh)	24	28	24	80-100

איור 23 – השוואה של Terragenic עם ה-Flow Battery

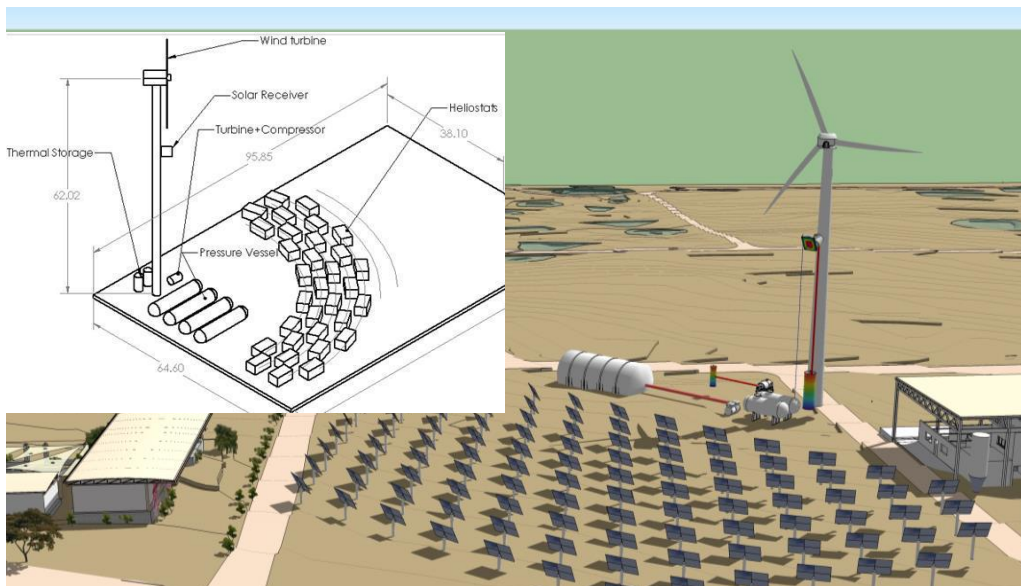
דגם ראשוני של פרויקט נוסף בשם "תמוז אנרגיה" נמצא כרגע בבדיקה בטכניון. מצד ימין (איור 24) יש 4 לוחות פרזנל (Fresnel) לכל האורך; אלו מאירים על הצינורות שרואים בצד שמאל. במקרה זה הפרזנל מרכז את החום על הצינור אשר על פניו מוזרם נוזל מעבר חום, שמן, או מים, תלוי בטמפ'. במרכז יש PCM, אשר במקרה הזה משמש רק כ-buffer, כלומר המערכת פחות רגישה לשינויים פתאומיים, למשל כתוצאה מעננות. ה-PCM ממתן את עקומת ההספק של המתקן.



איור 24 – קולט שמש מרכז – חברת "תמוז אנרגיה"

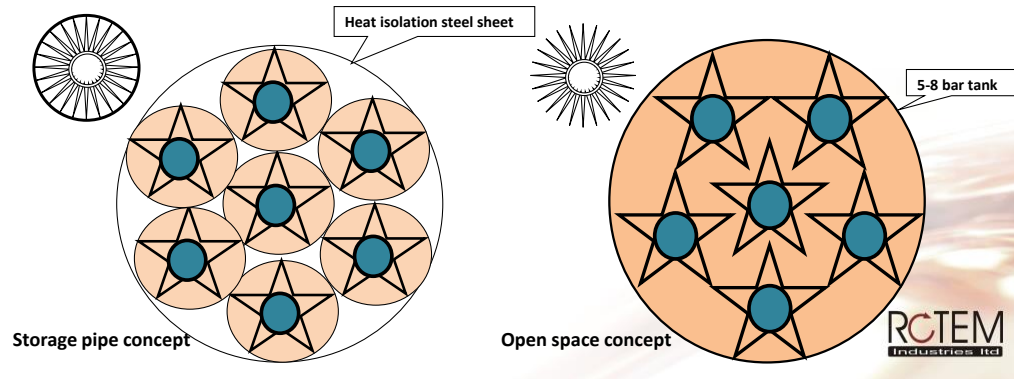
מוצגת גם אגירה קראמית שתוכננה במרכז ההנדסה של רותם ומשרתת פרויקט בפארק, כמעט זהה למה שאבי ברנמילר תאר, רק מחומרים אחרים ולטמפרטורות ולחצים שונים. מזרימים מצד אחד אוויר או שמן חם בטמפ' מסוימת ומקבלים פרופיל שכבתי (stratification), כלומר האזור החם נשאר חם והאזור הקר נשאר קר. זה חיוני מכיוון שאם מתחילים לאגור חום והפרופיל לא יהיה לפי שכבות נוצר מצב שבו למשל נאגור חצי מיכולת האגירה, ואז מאוחר יותר כשנשתמש באנרגיה היא תהיה בחצי מהטמפ', ואנחנו רוצים אותה דווקא בטמפ' כמה שיותר קרובה לטמפרטורת הטעינה.

איור 25 מתאר את פרויקט AugWind של קפיטל נייצ'ר שבו יש שני אפקטים של אגירה: האחד הוא אנרגיה מטורבינות רוח בלילה כדי לבנות לחץ, והשני הוא החום הסולארי שנקלט במשך היום ומחמם את הגז הדחוס שמשמש להנעת טורבינת גז. הנצילות של מתקן כזה מתקרבת ל-80% ולא 40% כמו של טורבינות גז במקרה הטוב.

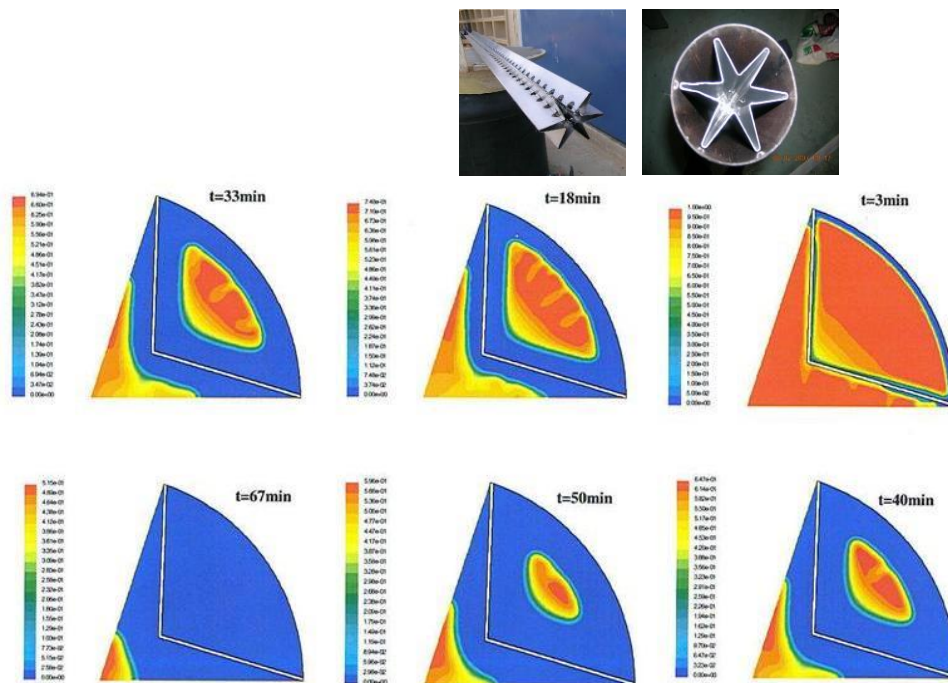


איור 25 - AugWind - אור יוגב

אזכיר גם שיש מערכות אגירה ב-PCM שפותחו ברותם במקור לגיבוי תחנות כוח סולאריות לשמן תרמי או לקיטור. מוצגים שני מודלים: או שה-PCM יושב בתוך צינורות (קפסולות), או בתוך מרחב, כפי שמתואר באיור 26. הצינורות בשתי הצורות עם הצלעות בצורת כוכב במגע ישיר עם ה-PCM. מתקן ההדגמה של 30 קוט"ש עבד ברותם. הבעיה העיקרית באגירת חום ב-PCM היא הוצאת החום מהמערכת, מכיוון שה-PCM, ברגע שהוא מתמצק, מבודד תרמית ומפריע לחום לצאת; זה מקטין את ההספק בצורה ניכרת. מה שרואים באיור 27 זה מקטע אחד מהכוכב שרואים באיור 26 – מתחילים ממצב של נוזל אבל לא רק ההיקף החיצוני עובד, אלא כל הצלעות משתתפות ולכן כתוצאה מזה ניתן להוציא את החום הרבה יותר מהר. במקרה זה אפקט הוצאת החום (ההספק) הוא פי 12 יותר מהיר.



איור 26 - קונפיגורציות של הצינורות והצלעות בתוך ה-PCM



איור 27 - Solidification with Star Insert (Red – Liquid phase, Blue – Solid phase)

פרק 4: דיון

בחלק השני של הפרקים התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו. על מנת למקד את הדיון, הוצגו מראש מספר שאלות כדלקמן:

- מהן השיטות הרלבנטיות לאגירת אנרגיה בייצור חשמל?
- מה יכולה וצריכה הממשלה לעשות לקידום הנושא?
- מה ידוע על אגירת אנרגיה לייצור חשמל בעולם ומה ניתן ללמוד מכך לגבי ישראל?

דברי המשתתפים מובאים כאן בסדר בו נשמעו וללא עריכה. בפרק הבא ניתן סיכום ומוצגות מסקנות מדברים אלה.

עודד אגמון: אדבר על אגירה בהקשר למשק הישראלי. כיום בישראל אנחנו מקדמים מתקני אגירה שאובה בהיקפים של כ-800 מגה-וואט, כאשר המתקנים עומדים בעיקר לטובת מנהל המערכת. כלומר, הם לא מתקנים שנכנסים מהיבטים כלכליים כך שיוכלו להציע שרותים נלווים למנהל המערכת, או שיש להם אפשרות, למשל, לקנות חשמל זול בלילה ולמכור אותו ביוקר ביום. המנגנון הוא כזה שמשלם את הזמינות, משלם עבור הון וסיכון לאותם מתקני אגירה, כאשר יעמידו את כל המתקן לטובת ניהול המערכת על מנת שיסייע בניהול הביקושים. העלות הנורמטיבית של מתקן כזה היא כ-1400 דולר להקמה, כולל חיבורים, ועלות תפעול שנתית כ-150 דולר (לקילו-וואט מותקן). המדינה מכירה בעלויות האלו ומשלמת ליזם עבור הזמינות. הפרויקטים האלה אמורים להשתלב ברשת לקראת סוף העשור. מעבר לזה שמשלמים את עלויות הזמינות, יש לאגירה תועלת בכמה מישורים. במישור אחד האגירה מסייעת לאיזונים בין השפל לשיאי ביקוש; כך ניתן לשרוף דלקים בצורה זולה יותר. כשעשו בדיקות כאלה לפני 4-5 שנים, אכן זאת הייתה התוצאה. מתקן האגירה השאובה חוסך כסף למשק, ומייעל את המשק. חלק מן העבודה של חברת החשמל הייתה להריץ את מערך הפיתוח של חברת החשמל, ולהבין שמתקן כזה מייעל מאוד את רשת החשמל, ולכן הוא נכנס. נכון להיום יש כמות גז מאוד גדולה במדינת ישראל, ומחירי חשמל יציבים על פני כל השנה של 14-15 אגורות. וככל שאנחנו מסתכלים לטווח הארוך, במחירי החשמל לא צפויות עלויות מאוד קיצוניות. היו מעט מאוד שעות של מחיר חשמל גבוה מדי. אנחנו רואים את זה בשנת 2014, בעלות השולית החצי שעתית של כל יום ויום. אם ננטרל את שנת 2012 שהייתה שנת משבר כי לא היה גז ממצרים ושרפנו סולר – שם באמת המחירים קפצו ל-1.5 שקל או אפילו 2 שקלים לקוטר"ש בשעות מסוימות. עם כמות הגז והרזרבה שיש במדינת ישראל המחירים לא יעלו ככה. התעו"ז הולך ומשתטח. ואם היום היינו בודקים (ואני אומר זאת בזהירות) אם יש צורך במתקני אגירה שאובה, כנראה שבמבחן התוצאה היינו מקבלים תשובה שאין צורך. ויגידו לי פה התומכים באנרגיות מתחדשות – "רגע! אבל יש אנרגיות מתחדשות, צריך את זה לטובת האנרגיות המתחדשות". אז מנהל המערכת והמתכננים מחברת החשמל אומרים שלא זאת האגירה שצריכים עבור אנרגיות מתחדשות; לא רק זאת. דרושה האגירה המידית, אותה טכנולוגיה שדיברתם עליה פה, שנכנסת מהר מאוד לרשת ומתקנת את התדר ואת ההספק. זה מה שכרגע צריך לשלב יותר במדינת ישראל. אפשר לעשות זאת לא רק באמצעות המתקנים המתוחכמים האלה; אפשר גם דרך הרזרבה הסובבת שאנחנו משאירים במחז"מים, בתחנות פחמיות ובפיקרים. המשק עדיין לא נחשף מספיק

לכמות של אנרגיות מתחדשות, במיוחד לא הפוטו-וולטאי שכפי שאנחנו יודעים מייצר תנודתיות מאוד גבוהה ברשת. אנחנו יודעים שהמשק בצורתו הנוכחית יכול לספוג עד 1800 מגה-וואט בלי צורך במערכות ייצור או שירותים נלווים נוספים פרט למה שמתוכנן כרגע ברשת. אבל כנראה שאגירה שאובה זה לא הדבר היחיד שדרוש. דרושים דברים נוספים.

אדי בית הזבדי: כלומר, אתם לא תאשרו אגירה שאובה?

עודד אגמון: אני לא יודע אם נאשר. דובר פה במשרד האנרגיה על הרחבה של אגירה שאובה. צריך לבדוק את זה, ולראות אם זה משתלב כלכלית. ככל שנראה שזה לא נכון כלכלית, אז אין צורך. עם המשק נכון להיום, בוודאי באופק שאנחנו רואים עם כמות הגז והרזרבה, עם היכולות הדינמיות שיש למערכת, אני לא חושב שאנחנו אמורים לראות עוד מתקני אגירה בעתיד הנראה לעין. אם הייתה תוכנית ארוכת טווח של משרד האנרגיה, תכנית אב, שאומרת בואו נראה איך שנת 2030, או 2040, או אפילו 2050 נראית מבחינת תמהיל הדלקים או בוודאי שהיה מקום להתחיל לדבר על זה. הרי מתקני אגירה שאובה זה לא פיתוח של מהיום למחר; זה לוקח הרבה זמן.

לצד זה יש לא מעט טכנולוגיות, אני מצטער להגיד, אבל אלו טכנולוגיות 'חלוץ' כרגע, בתחילת דרכן, שמדברות על כל מיני אפשרויות של אגירה, בין אם זה אגירת מלח, או כמו שאבי ברנמילר הציג פה – אגירה של חום, או כל שאר הטכנולוגיות שראינו פה שאיני בטוח שהן יכולות להשתלב בשנים הקרובות. זה בוודאי יהיה בעשור הבא. נשמח ככל שהנושא הזה יתקדם. צריך לראות באמת שגם מצליחים להביא את המחיר למצב כלכלי.

קיבלתי דיווח לאחרונה מגרמניה, דיברו שם על סוללות - המחיר הולך ופוחת בצורה משמעותית.

רון נזר: בגרמניה יש חובה של התקנת אגירה ביתית. אסור להזרים אנרגיה סולארית לרשת.

עודד אגמון: כן, הנהיגו מונה נטו ללא הזרמה. אנחנו הנהגנו מונה נטו רק לצורך הזרמה.

המתקנים התרמו-סולאריים באתר אשלים, הנמצאים בשלבי הקמה – האחד עם מגדל שמש והשני עם שוקת פרבולית - שניהם מתוכננים להיות עם אגירה. נראה שהעולם של האנרגיות המתחדשות והעולם של אגירה אכן זקוקים אחד לשני כדי להתפתח הלאה. כרגע לדעתי אנחנו בתחילת דרכנו כדי להבין מה באמת סוג האגירה שדרוש ואיזה יכולות דינמיות צריכים לפתח למנהל המערכת על מנת שיוכל להתמודד עם האתגרים החדשים של הגנרציה החדשה שמשתלבת.

עמנואל פלד: אמרת שלאנרגיות מתחדשות דרוש buffer מידי ולא ארוך טווח. עד כמה זה מידי?

עודד אגמון: זה בסדר גודל של מילי-שניות, לא דקות.

אבי ברנמילר: המדינה צריכה להסתכל על זה בצורה מאוד הוליסטית. היא צריכה להסתכל על כל מה שהיא רוצה וצריכה ולנסות לפתור את כל המשוואה, ולא כל פעם חלק מהמשוואה. פה צריך לאגור, פה צריך אנרגיה מתחדשת, פה צריך זול; בכל פעם מסתכלים על נושא אחד, מתמקדים עליו, ולא מתסכלים על המכלול. אם אני יכול להציע משהו, החשיבה שלי היא כך: לא אכנס לוויכוח על כמה עולה חשמל, אבל הנחת העבודה היא שמה ששמעתי ממנהל המערכת הוא מדויק. אז היום חשמל מגז עולה 30

אגורות. בנוסף לחשמל מגז צריכים עוד אגירה שאובה או יכולת תמרון כלשהי למערכת וזה מביא את מחיר החשמל ל-40 אגורות (אני בכוונה מפשט את זה מאוד). הרזרבות וכל הטורבינות שמקימים כדי לעמוד בזה, גם הן עולות כסף. טורבינה שעובדת כמה מאות שעות בשנה יש לה את המחיר שלה, ובסה"כ, נאמר לצורך הדיון הזה ש-40 אגורות זה מחיר המטרה לייצור החשמל (היום זה יותר אבל בעתיד זה יתייצב באזור הזה). עוד דבר שרוצים זה אנרגיה מתחדשת, או יותר מדויק – לחסוך בפליטות. אי אפשר להתעלם מזה. רק הלילה הייתה החלטה של ה-G7 בעניין הזה, להשתחרר מהתלות בדלק ולהפסיק לזהם. כל מיני תרגילי התחמקות שאנחנו מנסים במדינת ישראל מתי שהוא יגמרו. כבר בפריז אני חושב שיהיה הידוק בנושא הזה והלחץ רק הולך וגובר. בנוסף צריך גמישות ברשת, וצריך לראות מה יקרה עם הגז. יש כמה אפשרויות – המחיר יכול לקפוץ בצורה קיצונית כפי שאנחנו רואים עם כל מיני פטנטים שספקי הגז עושים כדי להעלות את ההצמדות, וכולם אומרים שנוריד אותן – נחיה ונראה. צריך לראות מה קורה אם חס וחלילה שולחים אלף טילים על תמר, כיפת ברזל וכמה ספינות שמשיטות מסביב לא יעצרו את זה. אפילו סתם תקלות תפעוליות, הרי יש רק צינור אחד או שניים. אם כל המדינה תעבור פעם אחת מגז טבעי לסולר כמו שקרה בפרשת הגז המצרי - לא רק חברת החשמל, אלא כל המדינה תפשוט את הרגל. צריך לדאוג למשהו חילופי שיוריד חלק גדול מהסיכון הזה.

בנוסף אני מאמין שיש היום מגמה בעולם לחזור מהגלובליזציה ולנסות לייצר פרנסה לעצמנו, ולייצר מקומות עבודה, תוך כדי עשיית כל הדברים שתיארת. אני חושב שזה אפשרי. אתן דוגמא אחת למה שפיתחנו, אותה אגירה שסיפרתי עליה קודם – היא מאפשרת למשל לבוא עם תחנה היברידית שהיא חצי סולארית וחצי גז טבעי, ולהגיע למחיר המטרה שצינתי. קיבלנו את כל מה שאמרתי: קיבלנו 40 אגורות; קיבלנו המון אנרגיה חלופית, כי 50% מתחנות של 100 מגה-וואט יעלה על כל היעדים שהעלו פה להורדת פליטות, אבל לא יעלה באגורה יותר; קיבלנו hedging, אמנם רק של 50% כי עדיין 50% זה גז טבעי ורק 50% סולארי, אבל אפשר גם את זה לשפר קצת על ידי החלפת הגז בדלקים אחרים כמו מה שעושים עם הזבל; קיבלנו אגירה, יכולת לספק 6-8 שעות, או כמה שיגדיר מנהל המערכת שצריך, ואז מתבטל הצורך להקים תחנות שעובדות כמה מאות שעות בשנה, כי התחנה יכולה לעקוב אחרי העומס ולתת בלילה יותר וביום פחות מכיוון שהאגירה שצינתי היא אגירה חמה: באותו רגע שהזרמת מים קרים, מקבלים בצד השני קיטור ב-500°C, ואם לא עצרנו את הטורבינה והשארנו אותה חמה, תוך מספר שניות מקבלים עליה גבוהה מאוד בהספק. קיבלנו גם משהו כמו 2000-3000 מקומות עבודה בשנה. זה כמובן סוג של חשיבה שלפיו פיתחתי את מה שפיתחתי ואני מאמין בו. זה לא אומר שרק אנחנו יכולים. אני בטוח שיכולים לבוא עוד שחקנים כמו אלו שפועלים היום באשלים, למשל, ולעמוד באותם קריטריונים. ואז יש לנו מדיניות לטווח ארוך שמטפלת בכל הדברים ביחד. כל פעם שמנסים לטפל בכל פרמטר לחוד, נופלים בפרמטרים האחרים, אם לא עכשיו, אז במשך השנים, למשל כמו באגירה שאובה, שהייתה רעיון מבריק בזמנו אבל עכשיו קצת פחות מבריק, ומחרתיים יקרה משהו וזה יחזור להיות רעיון מבריק. החשיבה הזאת צריכה להתממש כתכנית אב וזו ההמלצה שלי.

גרשון גרוסמן: למה לעשות אגירה כזאת ולא למשל PCM שזה יותר קומפקטי?

אבי ברנמילר: זה לא חשוב. מתאים מה שעונה על ה-40 אגורות או יותר זול. יש לעשות מכרז, ואם משהו מציע PCM וזה יותר זול אז בוחרים בזה. אבל עוד נראה אם זה יותר זול - אני מכיר את החשבון של PCM.

עמנואל פלד: אמרת שדרישה לייצוב הרשת מבחינת התדר היא ברמה של מילי-שניות. זמן התגובה בכל המערכות האלקטרוניות הוא מילי-שניה או אפילו פחות, בדיוק כמו קבל. גם מצבר וגם סוללה וגם תא דלק, קודם כל עובדים כמו קבל. זה אפילו זמן תגובה של מיקרו-שניות. בפרויקט באלביט של סופר קבלים בצענו 200,000 מחזורי טעינה ופריקה והפסקנו כי לא היה לנו ציוד להמשיך. אבל גם במצבר מכל סוג שהוא, ככל שמשתמשים באחוז יותר קטן של הקיבול, ניתן לקבל הרבה יותר מחזורים. גם בליתיום-יאון ניתן להגיע ל-50,000 מחזורים אם משתמשים רק ב-5% מהקיבול.

יובל זהר: קודם כל חשוב להבהיר, בהמשך למה שעודד אגמון אמר קודם, שצריך להבדיל בין אגירה מערכתית לאגירה מקומית. אגירה שאובה יכולה לתת פתרון רק לרשת ההולכה; אמנם רוב המתקנים הגדולים מיועדים להתחבר לרשת ההולכה, אבל היא נותנת פתרון רק למקטע הזה. האגירה המערכתית כרגע בעצם לא קיימת. אולי המצבר של Tesla אמור להיות סממן של איך הדברים האלה יכנסו לאט-לאט, ואולי זה יהיה הפתרון העתידי ברמה כזו או אחרת למערכות המקומיות. בגרמניה, למשל, יש ביזור עצום של משק החשמל עם עשרות אלפי מערכות ביו-גז קטנות ומערכות PV בהיקפים מצטברים של כמה GW, הרבה יותר ממה שמתוכנן פה בישראל. מתחילה להיכנס ממש דרישה לאגירה מקומית למערכות מסוימות, מה שמראה שהבעיות שנתקלים בהן שם לייצוב הרשת הן די משמעותיות. אנחנו מקווים להימנע מהן בצורה שבה האנרגיות המתחדשות נקלטות בארץ, אבל בפירוש הבעיה הזאת פרצה במקומות שכבר הטמיעו אנרגיות מתחדשות באירופה; במיוחד בגרמניה שמובילה את הנושא.

מדיון ממש בשבוע שעבר עם מנהל המערכת (היוצא), האגירה השאובה, לפחות בפרספקטיבה של מי שרואה את הביקושים ומנהל אותם בצורה יום יומית, מוצדקת לא רק בתפוקה של היום, אלא גם בכמויות יותר גדולות. הוא התייחס לתכנית אב שאמנם לא קיימת על השולחן אבל קיימת במגירות בינתיים, ועוד לא אושרה. יותר מזה, היום מתוך מכסה של 800 מגה-וואט, 640 כבר עם רישיונות ביד. עלו כל מיני קולות מכיוון של יזמים שהיתרה איננה כלכלית כדי להתקין מתקן אגירה נוסף, ולכן המחשבה היא להגדיל את המכסה בלפחות עוד 100 מגה-וואט, לפחות בטווח הקרוב. בראייה של מנהל המערכת, יש יתרון מסוים (לא הכרח) שמתקן כזה יוקם בדרום, כי שני המתקנים הנוכחיים סמוכים זה לזה באזור הצפון. יש עוד יוזמה למתקן במנרה, היה פעם רישיון והוא מנסה עכשיו להחזיר לעצמו את הרישיון. יש יתרון למתקן בדרום בגלל ריבוי המערכות שם. למרות שהאיבודים ברשת ההולכה אינם משמעותיים באופן יחסי, עדיין יש נושאים של ייצוב המתח והורדת הגודש של המערכת, אשר אגירה שאובה יכולה לפתור ברמה המקומית, אם אפשר לקרוא לזה כך.

יאיר סיגד: אני רוצה להדגיש את היתרונות של מערכות מבוזרות. אני רוצה לדבר על פתרונות bottom-up, ולא דווקא פתרונות שמסתכלים על פתרון כל בעיות החשמל והאנרגיה של המדינה. אני חושב ששני הדברים האלה צריכים להשלים אחד את השני. כשאנחנו מסתכלים על הנושא של אגירה אנחנו

רואים שעדיין קשה לראות את הכלכליות שבמיקרו רשתות. לכן הנושא של המחיר מאוד משמעותי ומשפיע על החשיבה שלנו ברפאל לגבי איך להתקדם. בנוסף, אנחנו יודעים שהרגולציה בארץ בשוק החשמל היא לא מן המתקדמות ביותר, ורפורמות לא קל לעשות כאן. לכן אני חושב שפתרונות יכולים לבוא גם בנושא של bottom-up, כלומר להציע פתרון מלא שהוא יחסית יותר מצומצם וסגור על עצמו. זה מתחבר גם לדברים שקורים היום עם ה-RFI שיצא לא מזמן למיקרו רשתות. גם שם מודגש הנושא של רשת חשמל ורשת חום. השילוב הזה גם עלה במה שאבי ברנמילר אמר – כדי לאזן את המשוואה נכון, צריך להסתכל על כל האנרגיה; חשמל זה דבר אחד, חום זה דבר שני. השילוב של הדברים האלה יכול לתת לנו תועלות שהם מעבר לתועלות של אגירה חשמלית בלבד.

בעצם אנחנו מסתכלים על פתרונות מבוזרים, יכולים להיות מנותקי רשת לגמרי, או יכולים להתחבר לרשת. למשל, הקמפוס של רפאל במכון דויד יכול להיות דבר כזה. אנחנו יכולים להסתכל על מגוון של קשיים, או דברים שאנחנו צריכים ברפאל, כצרכן. אבל אנחנו גם מסתכלים על צרכנים אחרים. קיים הנושא של time of use – כלומר לקנות חשמל בזול בלילה ולהשתמש בו אחר כך. אבל יש אצלנו גם מפעלי ייצור שדורשים חשמל באיכות מאוד גבוהה ופתרונות מהסוג ששוקי וולפוס הציג קודם (SMES) יכולים להתאים ספציפית; זו לא צריכה להיות טכנולוגיה אחת. אנחנו מנסים לתקשר עם הלקוחות ולברר בדיוק מה הקשיים והבעיות שיש להם ולנסות למצוא פתרון מלא שבא עם טכנולוגיות אגירה שונות. אנחנו לא חושבים שנכון לקדם רק טכנולוגיה כזאת או אחרת. האגירה החשמלית, יחד עם אגירה תרמית, יחד עם הניהול של הכל, יכול לתת תועלות שיהיו ספציפיות ללקוח מסוים, עם מספיק יכולות גנריות של אגירה וניהול. מספיק שאני מאפשר במתווה של מתקן חלוץ או בכל מתווה אחר, ופה אני פונה אל אלו שקשורים במדיניות, לאפשר לפתרונות לגדול מלמטה. אנחנו רואים כמה מקומות שהדברים האלה מתבקשים. למשל, בקיבוצים שיש להם מפעל, ולמפעל הזה יש מדגרה וצריך לחמם את האפרוחים, וכו'. השילוב הזה יכול בהחלט להיות כלכלי אם מסתכלים על רשימת כל הצרכים של לקוח מסוים. זה משהו שאני חושב שניתן לעשות גם בלי רפורמות מרחיקות לכת. מאוד חשוב להסתכל על המדיניות, ואיזה דלקים כדאי (כפי שאבי ברנמילר הזכיר קודם) כדי לא להיות תלויים בגז, אבל זו שיחה שיכולה וצריכה לבוא במקביל לדרך לאפשר לפתרונות מבוזרים לצמוח מלמטה. ואם הפתרון כלכלי זה כבר ירוץ מעצמו.

גרשון גרוסמן: אתה אומר מצד אחד לאפשר פתרונות מקומיים או פתרונות מסוג bottom-up, מצד שני אתה אומר הוא ירוץ מעצמו. אז מי צריך לאפשר? אם יש לי בעיה ואני פותר אותה בעצמי, אני לא צריך אישור מאף אחד.

יאיר סיגד: בחו"ל זה יכול לרוץ מעצמו כי הרגולציה הבסיסית קיימת. פה בארץ לפעמים זה יותר קשה כי אין משק אוטורקי. אם אני מנותק מרשת החשמל לגמרי, אני לא מפריע לאף אחד ואני צריך רק להראות שאני בטיחותי ולא עובר על חוק החשמל. אבל ברגע שאני רוצה להתחבר לרשת החשמל ולאפשר לאיזון הזה לא להיות רק בפנים, אלא אם יש לי עודפים – לתת אותם, ואחר כך לקחת אותם, זה כבר משהו שצריך להסדיר. אני חושב על מתווה שיכול להיות דומה למונה נטו.

עודד אגמון: אנחנו נשמח לשמוע על הרגולציות שאתה זקוק להן, כי ההסדר מונה נטו הוא אחד מההסדרים היותר מתקדמים שפיתחנו לטובת העניין הזה, כדי שתוכל להזרים חשמל שאתה מייצר, לקחת אותו אחר כך כשאתה צריך, והוא משקף את המחיר הכלכלי שלך. זה אחד מההסדרים היותר מתקדמים בעולם.

רון נזר: אבל לא נעשה לו אגירה.

עודד אגמון: להיפך, אתה לא צריך אגירה בשביל מונה נטו. כל החוכמה הייתה שלא רצינו להעמיס את האגירה על הצרכן. מי שאוגר את החשמל היא רשת החשמל; הסוללה היא כביכול אצלנו במשק החשמל ולא אצלך בחצר.

יאיר סיגד: נכון. אבל יש כמה מעצורים שעדיין קיימים עם מונה נטו, אני לא רוצה להיכנס לפרטים עכשיו.

עודד אגמון: אשמח אם תביא תעביר אלינו את החומר, אנחנו פתוחים לשמוע.

יאיר סיגד: כמו שאמרתי, יתכן שבסופו של דבר מונה נטו יספיק, או כמעט יספיק. הראייה של מיקרו-רשתות במשרד התשתיות היא מאוד חיובית. אני חושב שהדברים האלה מהווים בסיס מספיק טוב שאפשר להתקדם איתו. להיפך, אני אומר שה-bottom up כמעט קיים אצלנו ואפשר במאמץ לא גדול לגרום למשהו לקרות מהר יחסית.

עודד אגמון: אני חושב שמה שנוסף פה למה שאתה אומר, ומה שגם נאמר במצגות, הוא שמתקני אגירה בעצם הופכים להיות מתקני ייצור. זה משהו באמת מהפכני. ואם אתה מדבר על bottom-up אז בהחלט - אמנם לא ראינו את זה אף פעם כמתקן של ייצור אבל נניח שעם הסדר כזה של מונה נטו (או כל דבר אחר) יכול להביא להקמה של מתקנים קטנים כאלה ברשת החלוקה, של אגירת אנרגיה בשעות מסוימות ושחרור שלה בשעות אחרות, ועדיין להיכנס תחת הקטגוריה של מתקן ייצור. זו חשיבה שכרגע צריכה להתקיים במשרד האנרגיה לטובת קביעת מדיניות, ואחר כך גם אצלנו ברשות כדי לקבוע באיזה הסדר תעריפי היא יכולה להיכנס.

גרשון גרוסמן: אני מכיר כמה קמפוסים של אוניברסיטאות בעולם, אחד באוניברסיטה הטכנית של מינכן, אחד ב-University of Maryland, ויש עוד, שמייצרים לעצמם את החשמל. לדעתי אלה פרויקטים לדוגמה וראויים לחיקוי. החלום שלי הוא שהטכניון ייצר לעצמו את החשמל, וישתמש בחום השיוור, למיזוג אוויר בקיץ ולחימום בחורף. הטכניון צורך בשיא בסביבות ה-20 מגה-וואט, ובשפל 4 מגה-וואט; זה גודל שאפשר לחיות אתו ומתאים לפרויקט עצמאי כזה.

עודד אגמון: זה מתחבר למשהו אחר שכרגע מתפתח – ייצור ברשת החלוקה. ככל שמשק הגז יתפתח וקווי חלוקת הגז יתפתחו, אנחנו גם נאפשר, אני מקווה, הקמת גנרציה או קוגנרציה או טריגנרציה באותם מקומות קטנים כמו הטכניון. ואז גם משק הגז נכנס לתוך התהליך. אמנם לא דיברו על זה פה, אבל גם משק הגז מחפש את מקורות האגירה שלו. מדובר על אגירה, או בים תטיס, או בים המלח. מדובר בפרויקט מאוד גדול באזור ים המלח, בקצה הצינור שמגיע לאזור סדום, ויש מקום לחשוב אם

האגירה הזאת באמת נותנת פתרון. ולפי מה ששמעתי מהמחירים, מדובר בפתרון זול ביחס לפתרונות של אגירת חשמל.

אבי פלדמן: זה לא חייב להיות פתרון רק על רשת ההולכה, זה יכול להיות גם בסוף – בחלוקה.

עודד אגמון: כן בהחלט. מדברים פשוט על פרויקט לאומי משמעותי – אז זה הדבר שנמצא כרגע על הפרק.

שוקי וולפוס: רציתי לשאול את עודד אגמון, או כל מי שבתחום, אם יש איזשהו גוף שמודד את מידת הנחיצות של פתרונות אגירה בטווחי הזמנים השונים. יש לקבוע עד כמה זה בעייתי ומה הנזקים שנגרמים בזמנים קצרים וארוכים. איך מגיעים אל המספרים של מידת הצורך האמיתי למשק, עד כמה תנודות בתדר פוגעות, עד כמה $\cos \phi$ פוגע, עד כמה הפרעות בזמנים קצרים\ביניים\ארוכים מפריעות? הנתונים האלה מאוד יעזרו כשבאים למסחר טכנולוגיות כאלה.

דבר נוסף שרציתי לשאול – אחריות של מי צריכה להיות לתיקון הבעיות האלה? האם מצופה שהחשמל ייצא מתחנות הייצור באיכות עליונה, או שהנושאים האלו יטופלו בשערי אותו הצרכן הקריטי?

עודד אגמון: זו תמיד שאלה כלכלית. בסופו של דבר העבודות שאני מכיר מדברות על דקות של איספקט חשמל. אני כמעט לא מכיר עבודות שנעשו פה בישראל על איכות החשמל. תקן אותי עמק שדות, האם אני צודק?

עמק שדות: בהחלט.

עודד אגמון: אני חושב שהמקום לעשות זאת הוא חצר המפעל. אתה לא יכול לצפות שמתחנות כוח ייצא החשמל בלי הרמוניות ובלי שום עיוותים שנוצרים בתהליך. בדיוק כמו בנושא של המים: מספקים מים שעומדים בסטנדרטים בינלאומיים מסוימים, ואם אתה צריך לתהליך מסוים שלך מים באיכות גבוהה יותר, אתה תקים מתקן שמטפל במים בהתאם. בסופו של דבר העלות לא צריכה להיות כללית משקית אלא עלות ספציפית של אותו מפעל שמתחבר לרשת, בידיעה שדקות איספקט זה משהו שאנחנו צריכים לטפל בו. הריצו מודלים כדי לבדוק אם אכן האגירה השאובה הזאת משפרת ומייעלת את המשק. לא לחינם נגזר המספר 800 (מגה-וואט), אחרי שהמספר הקודם היה 450, ועכשיו מצפים שזה יעלה אף יותר.

שוקי וולפוס: האם אגירה לטווח קצר מעניינת את המדינה?

עודד אגמון: לדעתי המדינה בכלל לא נכנסה לסוגיה הזאת. כרגע זה מתחיל להופיע בגלל שילוב האנרגיות המתחדשות. לפני זה אני חושב שהנושא הזה בכלל לא נידון.

אבי פלדמן: על איזה טווחים אתה מדבר?

עודד אגמון: טווחים של שניות, בטווח המהיר, כדי לראות שאין נפילות של תדר ואז מתח. איכות החשמל הוא נושא שהמדינה כרגע נכנסת אליו. זה הליך מאוד מורכב. אנחנו נמצאים בדיונים מול חברת החשמל כדי לראות את הצרכים שיש לטובת העניין הזה. אבל זה לא בעיקר רשות החשמל, זה בעיקר משרד האנרגיה שאמור להעמיד את הבסיס לכמה ואיפה ואיך.

אבי פלדמן: בעולם זה ברמת הצרכנים, לא ברמת רשתות החשמל. הצרכן דואג לעצמו.

שוקי וולפוס: השאלה האם יש סיכון כלשהו מהעובדה שהנזקים נגרמים לאינטל ומוטורולה וטאוור?
האם מישו אוסף את המידע הזה ויכול להגדיר?

אבי פלדמן: ברמה הבינלאומית יש מחקרים שאוספים את המידע הזה.

יובל זהר: יש הרצות תאורטיות של חברת חשמל לגבי כמה אנרגיות מתחדשות יכנסו וכמה אגירה שאובה תצטרך להיכנס לפעולה עקב אי-הרציפות הזאת.

עודד אגמון: אבל זה לא מה שהוא שואל, הוא שואל על הפרעות בתעשייה. אני לא מכיר עבודות כאלה. לא על דקות אי אספקה - על זה יש עבודה מאוד מסודרת של משרד האנרגיה מלפני כמה שנים, בדקו כמה עולה שעת אי אספקה. אני חושב שאנחנו בתחילת דרכנו בכל מה שנוגע לאיכות החשמל.

גדעון פרידמן: ברצוני להתייחס למה שנאמר על הרצון שהטכניון ייצר חשמל לעצמו. באוניברסיטת סטנפורד היה ייצור עצמי של חשמל החל מסוף שנות ה-70 ולאחרונה הוא נסגר. הם עברו לדור הבא. הרימו פרויקט בחצי מיליארד דולר של התייעלות אנרגטית תרמית. כל המקומות שיוצרים קור וקולטים חום, העבירו למקום שצריך חום ופולט חום. ראו שיש חפיפה של 70% בערך בדרישות לחום וקור. העבירו צנרות מדהימות בתוך הקמפוס. זה פרויקט שאמור לממן את עצמו תוך 35 שנה, לא 3 שנים ולא 5 שנים, אבל ממש פרויקט מרשים. מבחינתם הקוגנרציה שייכת לעבר. את מקורות החשמל שלהם הם קונים מאנרגיות מתחדשות.

אבי פלדמן: אני לא רואה כלכליות בפרויקט של 35 שנה.

גדעון פרידמן: אני רוצה להעלות פה שאלה. באופן כללי אני תחת הרושם שנושא האגירה במערכות גדולות קרוב למצב שבו הפתרונות יהיו כלכליים וישתלבו במערכות. בין אם חלקם פתרונות של חום ובין אם חלקם פתרונות של סוללות או משהו ממגוון הרעיונות ששמענו, הם לדעתי על סף בשלות. אשמח לשמוע אם מישו חושב שזה לא נכון. אבל, אני חושב שלאור דברים מהסוג הזה, אפשר בהחלט לנסות ולבנות מערכת הכוללת בתוכה גמישות גדולה בהרבה ממה שהיה בעבר. צריך לתכנן את הגמישות הזאת בעזרת אגירה כמובן. הגמישות הזאת תאפשר למערכת להיות הרבה יותר יעילה, וזה צריך להילקח בחשבון בתכנון ארוך הטווח של משק החשמל.

בהקשר של אנרגיה מתחדשת קשה לי לראות איך ניתן להימנע מדרישות רגולטוריות על המתקנים המייצרים כדי שהם יתנו פרופיל ייצור יותר הגיוני בסה"כ ויותר רגוע, או קצת יותר דומה לייצור קונבנציונאלי – ואז פתרונות האגירה יהיו גם ברמה המקומית, כמו שהזכירו פה.

דבר נוסף - אני באמת מזדהה עם הנושא הזה של פתרונות bottom-up. ניהול רשת חכם שיכלול כמובן את כל סוגי האגירה זה דבר מורכב; לא ניתן להחליף את המערכת בקליק במערכת אחרת, זה צריך להיות דבר אבולוציוני ולכן יש הגיון רב בהקמת מנגנונים מקומיים של מיקרו אוגרים. רק צריך לדאוג שהם מלכתחילה ידעו לדבר אחד עם השני בנוגע לדרישות. זה נושא שאנחנו רוצים לקדם. כמובן שזה

עולה כסף – צריך להבין שרשת חשמל עולה כסף, צריך להכיר בחלק מהעלויות האלה גם ברמה המערכתית, לדעתי.

יוחנן אור: מרים לב-און ציינה שכיום 97% מהאגירה בעולם היא אגירה שאובה. גם אם נניח התפתחות טכנולוגית במערכות שהוצגו פה, אני חושב שלא נגיע ליותר מ-20% יכולות, ועדיין העולם צריך להתבסס על כ-80% אגירת אנרגיה בשיטה של אגירה שאובה. לכן אני רוצה לחלוק על התיזה שעודד אגמון הציג פה, כאילו בגלל ירידת מחירי ייצור החשמל, כמות של 800 מגה-וואט של אגירה שאובה תספיק. אני חושב שהיא צריכה לגדול ולהגיע לסדר גודל של בין 8% ל-10% מכל הייצור הכולל של מדינת ישראל כדי לתת מענה לא רק למחיר אלא גם לפחות לעוד שלושה עקרונות:

1. הצורך בעתודה סובבת וקצב התגובה לעניין הזה.
2. באותו הקשר כמובן, מענה לצורך של התנעה מהירה (black start), נושא שעכשיו בשימוע ברשות או שנמצא לקראת סוף שימוע, שכל יצרן מעל 500 מגה-וואט צריך להיות מוכן לו, ואגירה שאובה הוא המענה הקלאסי לעניין הזה.
3. בטחון. ב'צוק איתן' נפל טיל בתוך החצר של דוראד ובמזל גדול לא נגרם נזק. באגירות שאובות מתקן הייצור נמצא קילומטר בתוך האדמה, מוגן מכל דבר, השרידות הרבה יותר גדולה מכל תחנת כוח אחרת. אני מסתכל על מדינתנו – באשקלון יש היום כושר ייצור מאוד גדול שחשוף לתקיפות.

לכן אני חושב שמכל השיקולים האלה, נכון להגדיל את כמות האגירה השאובה למעל 1000 מגה-וואט. מה שחסר באמת זה מדיניות כללית, של רשות החשמל ואז מינהל החשמל – להגדיר את התכנית האסטרטגית לשנת 2020, 2040 ו-2060. להגיד לאן הרשת מתקדמת ומה הצרכים שיש לה, ואז העניין הזה יקבל את המשקל הראוי.

אבי פלדמן: תופתע כמה מהר הטכנולוגיה תשיג את ההצהרה שלך. אני מציין את זה רק כחומר למחשבה.

יוחנן אור: נתתי לך גידול של מ-3% ל-20%.

אבי פלדמן: כן. אבל ה-97% הזה הוא פרה-היסטוריה. על כל השאר הסכמתי איתך.

אבי ברנמילר: תחשבו על מצב בו לכל תחנה חדשה שנבנית יש יכולת אגירה אינהרנטית.

גרשון גרוסמן: כמה פוטנציאל הייתם אומרים שיש בישראל מבחינת המקומות שבהם ניתן לבנות מתקני אגירה שאובה?

יוחנן אור: המקומות הקלאסיים, הם השלושה שכבר הוזכרו (גלבוע, כוכב הירדן וצוק מנרה); לפחות לפי הבקשות לאישורים שאני מכיר הם מגיעים כמעט ל-1000 מגה-וואט. יש הצעה לפרויקט פה בכרמל בו מדובר על כ-200 מגה-וואט. ויש גם את אתר פרסה ששם זה 800 מגה-וואט בקלות.

עודד אגמון: פוטנציאל לא חסר. יום אחד נפרוץ את הגבולות גם של האנרגיה.

יוחנן אור: בדיוק. ואז נוכל לספק חשמל לירדן בפרויקט תעלת הימים שלא ממריא משום מה. יש שם פוטנציאל אדיר.

עודד אגמון: זה מתחבר לנושא של בטחון אנרגטי. בעולם יש התחברות בין רשתות החשמל של המדינות; לנו אין את זה. זו בהחלט עוד נקודה לחזק את הגישה של האגירה; השאלה איזו. וכמובן צריך לדעת לתמחר את זה.

דן וינשטוק: אני חושב שלפעמים חברת החשמל מטעה את הרשויות (לא בכוונה - אני בטוח). אתן דוגמא. יובל זהר אמר שצריך דחוף מתקן אגירה שאובה בדרום. אני יועץ של חברה שהגישה בקשה למתקן אגירה שאובה באזור ערד. יש לי פה סקר היתכנות של חברת החשמל, חם מהתנור, הגיע לפני כמה שבועות. ראו איך אומרים לא: "חיבור מתקן בהספק זה [160 מגה-וואט] מצריך בניית קווי 160 קילו-וולט...". לא הרבה, באורך של 300 קילומטר, "...להקמת הקווים הנ"ל נדרשת תמ"א...". זה תהליך קצר, "...כאשר אישור תוואי שיהיה מקובל על הרשויות הינו תהליך ארוך וגם בניית הקווים צפויה להמשך זמן רב...". היא לא יכולה להתחייב לשימות. בסקר התכנות, למי שלא יודע, חייבים לתת לו"ז. אפשר להגיד 2025, אבל הם אפילו לא יכולים להגיד, ואני מבין אותם, מה ייצא מהקו הזה. אבל זה לא הכל. נניח שיקימו, עכשיו טיפול – "...כדי להקים את מתקן האגירה השאובה נדרשת הפעלת טורבינת גז באילת בהספק של 50 עד 100 מגה-וואט. הפעלת טורבינת הגז נדרשת כדי לשמור על רמת המתחים...". וחוף מזה הם אומרים שיש בעיה כי מותר לנו להפעיל את זה רק 300 שעות בשנה.

אבי פלדמן: זו תשובה שמנסה להרוג את הפרויקט.

דן וינשטוק: אתם יודעים איך הורגים פרויקט רוח לדוגמא (ראיתי גם סקרים כאלה)? 'אין בעיה להקים, צריך רק 25 קילומטר של קו חלוקה ולפנות שדות מוקשים'.

עודד אגמון: מה עושים באמת?

דן וינשטוק: אתה מספיק מנוסה בכדי לא לאמץ את זה as is. בחברת החשמל אומרים שהפוטו-וולטאי מאד רגיש, עובר ענן והכל נופל. חברים, אני רוצה להגיד לכם שהאנשים שאומרים את זה בחברת החשמל הם למעלה, הם לא משקרים בתודעה, נחבר אותם למכונות אמת המחוג לא יזוז, אבל צריך לפרוט את הדברים לפרוטות. למשל, אם פתאום יש בעיה במושב בבאר טוביה, פונים לעופר חיון ופותרים את הבעיה, פותרים לוקאלית, לפעמים מצליחים, לפעמים לא. אבל האמירה הזאת שזו בעיה גדולה, וזה נורא רגיש, וזה מפיל את הכל – זו אמירה מאוד...

עודד אגמון: מאוד כללית ולא מבוססת.

דן וינשטוק: רוב הבעיות הללו נפתרות באמצעות כיוונים פשוטים, לא משהו מתוחכם.

יובל זהר: היום יש 600 מגה וואט PV מחוברים לרשת, פועלים, מספקים חשמל, ואין אגירה שאובה והכל 'זורם'.

אבי פלדמן: זה רק מחזק את מה שאמר.

דן וינשטוק: התמיכה שלי באגירה שאובה מבוססת יותר על שיקולים בטחונים שיוחנן אור התחיל לדבר עליהם. אני מכיר את חברת החשמל מהמסד עד הטפחות, מהיו"ר עד מנהלי העבודה, יש שם המון ידע, אבל צריך לדעת מאיפה לשלוף אותו. לגבי ה"חלום" שהטכניון ייצר חשמל לעצמו, הוא בכלל לא מסובך לתפעול. לפי ההספקים שאמרת, צריך יחידת ייצור שעובדת על גז טבעי, ומתח גבוה, וזה הכל. יש הרבה חברות שיכולות לבצע את זה. מה שיעכב פרויקט כזה היא רשת חלוקת הגז; אתם יכולים לתאר לעצמכם כמה קשה יהיה להעביר לכאן צינור. אבל זה כבר נושא אחר.

אני רוצה להגיד עוד משהו בנוגע למה שיוחנן אור התחיל לפתח בנושא של ההיבט הביטחוני. לא ארוחב על זה את הדיבור כי הזכרתי את זה בפורום האנרגיה הקודם שהתקיים פה¹. אספר בקצרה שיש עבודה של המכון למחקרי בטחון לאומי, אשר כשמו כן הוא, אבל לפני מספר שנים הוא נכנס למחקרים גם בתחום האזרחי, ובראש ובראשונה בתחום החשמל. הם עשו עבודה שהיא ממש ערב פרסומה, והיא מדברת הרבה על השרידות של המערכות. גם אנחנו, בעבודה זו שהייתי שותף לה, המלצנו על הרחבה של אגירה שאובה, פחות או יותר בהספקים שיוחנן אור דיבר עליהם.

אני חושב שהמדינה צריכה להתמקד ולעודד אגירה בהיקפים קטנים. לא מכיוון שההיקפים הגדולים לא חשויים, אבל שם יש כוחות יחסית חזקים שיודעים לקדם את זה. אני סומך על אבי ברנמילר, ועל יוחנן אור, ועל האחרים, שהם ידעו להתגבר. מקודם מתחתי קצת ביקורת על הרשות אבל עכשיו אני רוצה להגיד דברים טובים. פוטו-וולטאי, אני לא יודע אם זה היה מתוכנן, אבל בפועל זה עבד כך: כולם זוכרים כי בהתחלה היו המתקנים הקטנים הביתיים של 4 קילו-וואט, ועסקיים עם 50 קילו-וואט, ואז מתקנים בינוניים, ואז גגות, ואז גם ירדו לקרקעות, עד שהגענו למתקנים המאוד גדולים של 37.5 מגה-וואט שחובר בסוף 2014, ו-55 מגה-וואט שיחובר בעוד מספר ימים. כלומר, הייתה מין אבולוציה שכזאת, ואני חושב שאותו הדבר יהיה עם האגירה. צריך להתחיל בהיקפים הקטנים. אני לא יודע להצביע עכשיו בדיוק על איזו טכנולוגיה, אבל כמו שאבי ברנמילר אמר מקודם, תגדיר את מגרש המשחקים, ושהטוב (או הטובים) ינצח. רק חשוב להגדיר את מגרש המשחקים בצורה גמישה ולתת לכולם להתחרות. אני סומך על אבי פלדמן שאוסף חברות עם כל מיני רעיונות חדשים שהוא ידע להביא את הדברים האלה, אבל צריך לתת לו את מגרש המשחקים, וזו ההמלצה שלי לדו"ח הזה.

מרים לב-און: הפורום הראשון שהיה כאן במוסד שמואל נאמן בפברואר 2006 המליץ להתקין את המתקנים הקטנים האלה של PV ביתי ולתת תמריץ כספי כדי שיזרימו לרשת. מיד אחרי זה דובר עם האוצר על הנושא הזה והיו הסכמים. וזו הייתה ההמלצה הראשונה של פורום האנרגיה.

דן וינשטוק: ואגב, לא בפרק זמן מאוד ארוך, כי ההסדרה הפוטו-וולטאית הראשונה נכנסה ביולי 2008. אבל הסיבה העיקרית היא שאז היה מנהל מינהל חשמל אחר... אלו היו זמנים אחרים.

אבי פלדמן: אני רוצה להתחיל בדיוק מן המקום שדן וינשטוק סיים. אני מסתכל על זה מצד הטכנולוגיות. כמובן שבזווית הראיה שלי אני מסתכל על הטכנולוגיות בשלבים מאוד מוקדמים יחסית,

¹ ג. גרוסמן, י. עברון: ייצור משולב של חום וחשמל. סיכום והמלצות דיון פורום האנרגיה מס' 34, [מוסד שמואל נאמן](#) לחקר מדיניות לאומית, מאי 2015.

ואנחנו רואים הרבה כאלה. אני חושב שהמיקום שלנו בעולם מבחינת פוטנציאל יזמות בתחום האנרגיה בכלל, ואגירה בפרט, הוא גדול מאוד. הסקירה שנתן היום דן שגיא נגעה בחלק מהן; אלה לא כל הטכנולוגיות שיש. השאלה עכשיו מה עושים עם זה. אני רוצה להתייחס למספר רמות:

רמה ראשונה היא של רשות החשמל, או מנהל המערכת. ברגע שהוחלט שיש מחיר לאגירת אנרגיה - שחרר אותו. בדיוק על אותה מערכת עקרונית של דו"ח קנדל [6] בנושא המחיר הכלכלי של אנרגיה ממקורות מתחדשים. שחרר אותו לכל הרשת, כלומר לכל צרכן מייצר על פני הרשת, בין אם הוא יצרן חשמל או בקצה רשת החלוקה. קבע את הרגולציה לגבי איך אתה משתמש בו. גם אם יש פה היבט של דו-כיווניות, כלומר אתה יכול לתת פיקוד כזה או אחר עם חיבור רשת חכם כלשהו - איך משתמשים ואיך משחררים את זה לרשת. אבל אתה צריך להיות, כמנהל מערכת, אגנוסטי לטכנולוגיה כל עוד היא זמינה לך כמנהל המערכת. כך צריך להסתכל על זה. יש מחיר לאנרגיה (או חשמל) אגור, עכשיו תנהל את זה, תן למשק לרוץ לטכנולוגיה הזמינה ביותר ולמי שיש את האמצעים להתקין אותה.

גרשון גרוסמן: כשאתה אומר 'שחרר אותו', למה הכוונה - 'אל תפריע לוי' או 'תן לו תמריצים'?

אבי פלדמן: תקבע את המחיר ואת התנאים הנלווים אליו לגבי איך אתה מתחבר לרשת הזאת. ושוב אני אומר - יתכן שהתנאים יהיו שונים אם אתה נמצא בקצה רשת החלוקה, או על יד יצרן בקוגנרציה או ליד צרכן גדול. אפשר לקבוע תנאים שונים לאופרציות שונות. אבל תקבע את זה, וזאת הרגולציה, זה המחיר, תן למשק לפעול באופן עצמאי בנושא הזה. זה כמובן משנה באופן קיצוני בטווח הארוך מאוד את מבנה משק החשמל, אני מסכים, אבל הטכנולוגיה היום הופכת ליותר ויותר זמינה, מכיוונים שונים ובהיבטים שונים. אתה רוצה להתקין סוללות? תתקין סוללות. אתה רוצה לעשות מתקן קוגנרציה? תעשה מה שמתאים לך.

ברמה השנייה - אנחנו צריכים לשאול את עצמנו האם אנחנו דואגים רק להיבט של משק החשמל הישראלי? יש פה הרבה מהטכנולוגיות האלה, שבמשק החשמל הישראלי יהיה להן אולי היקף קטן מאוד, מכל מיני סיבות הקשורות למבנה של משק החשמל הישראלי ולהזדמנויות שיש בו. אבל יכולות להתפתח חברות מאוד גדולות בין לאומיות. הדוגמא הטובה ביותר היא SolarEdge שקמה רק לפני 8 שנים. אינוורטרים במשק החשמל הישראלי אינו שוק גדול, אבל יש מספיק ביקוש בעולם למוצר הזה וזו יכולה להיות חברה טכנולוגית מרשימה שמייצאת מישראל.

בשנה שעברה הוכן דו"ח של מוסד נאמן עבור משרד הכלכלה שנתן סקירה של מצב החברות הטכנולוגיות בישראל. השורה התחתונה והמעניינת ביותר מהממצאים היא ש-93% מהחברות בתחום של אנרגיה ירוקה, כולל תת-התחום של אגירת אנרגיה, נמצאות בשלב של חברות סטארט-אפ, בשנים הראשונות שלהן. דוגמא אחת היא EnStorage. החברות הללו מתקשות לפרוץ לשוק הבינלאומי.

ההמלצה שלי היא שצריכה להיות תכנית אב לאומית שמתייחסת גם למשק החשמל הישראלי, שתקבע מה היעד, לא רק באנרגיות מתחדשות אלא גם בנושא אגירה, לאיזו תפוקה רוצים להגיע. ויש גם לעסוק בהזדמנויות הבין לאומיות, ואיך לקדם את החברות הישראליות לשם. זה לא כסף גדול לכלל ההשקעה של המדינה בהיי-טק אבל צריך שתהיה פה תכנית המשכית על פני זמן, ושהיא ממצה את הפוטנציאל

הזה, כי בסופו של דבר אנחנו היום מדגרה נהדרת להמון חברות סטארט-אפ, אבל אנחנו נותנים להן למות אחר כך.

אבי ברנמילר: לא צריך ללכת רחוק. בדלקים כבר עשו את זה.

עמנואל פלד: מה עשו בדלקים?

אבי ברנמילר: יש תכנית שחושבת כמה צעדים קדימה ומנסה ליצור אווירה שתאפשר היווצרות תחליפי דלקים. לא אמרתי שנוצר, אבל לפחות מנסים. יש מנגנונים שמעודדים מתוך הבנה של הפוטנציאל הגדול.

אבי פלדמן: אז אם אתה רוצה משהו שכולל את הכול - צריך קריאה למקבלי ההחלטות והמדיניות, למשרדי הממשלה הרלוונטיים, בעיקר משרד האנרגיה, להוביל לתוכנית אב לאומית שמסתכלת לפחות 10 שנים קדימה...

יוחנן אור: עשרים...

אבי פלדמן: בסדר, אמרתי לפחות, זה המינימום התחתון... התכנית צריכה לקבוע לאן רוצים להגיע גם ברמה של המשק הלאומי וגם ברמה של עידוד חברות ישראליות.

יובל זהר: אני לא מבין את ההמלצה. האם מישו דחף את Ormat לשוק הבינלאומי? האם מישו דחף את SolarEdge? את Brightsource? זו התפתחות איטית של החברות, מאוד יפה ומאוד מוצלחת.

אבי פלדמן: נכון. אבל אתה מביא דוגמה של אחד בכל עשור, במקום שיהיו 10 בכל עשור. זה משנה לגמרי את ההשפעה על הכלכלה הישראלית.

יובל זהר: למה? קח את מנהלת תחליפי דלקים. היא בפירוש הגדירה לעצמה יעדים בינלאומיים.

אבי פלדמן: דרושה תכנית וצריך תקציב שמתאים לתכנית הזאת, ואז הדברים האלה אפשריים.

עמנואל פלד: אני חושב שבארה"ב ובאירופה יש תכניות לאגירת אנרגיה.

אבי פלדמן: במסגרת Horizon 2020 יש כספים לנושא הזה. בגרמניה יש כספים גם ליישום של פרויקטים, וגם ברמת הצרכן. הכל שאלה של מדיניות.

גרשון גרוסמן: שמענו פעמים רבות בפורום האנרגיה שלמשק החשמל צריכים לדאוג משרד האנרגיה ורשות החשמל, ולייצא צריך לדאוג משרד הכלכלה. שלא יפריעו אחד לשני. למשרד הכלכלה לא משנה אם מדובר במתקן אגירת אנרגיה או במוצרי קוסמטיקה. אם אפשר לעשות כסף מייצוא - הוא תומך, ואם לא אז לא.

אבי ברנמילר: קוראים לזה שיתוק לאומי. רשות החשמל מעוניינת רק במחיר, משרד האנרגיה מעוניין באיכות ולא מעניינים אותו מקומות עבודה.

עודד אגמון: למה אתה אומר את זה? אחד ההסדרים שקבענו ברשות החשמל מתייחס למתקני חלוץ. זו יוזמה של משרד האנרגיה ושל רשות החשמל ביחד. הפכנו עולמות כדי להוציא את זה.

אבי ברנמילר: דווקא בזכות האנשים זה כן קרה בסוף. אבל אני אומר בגדול, כל גוף מתנער ממה שלא נוגע ישירות אליו. גם בדו"ח קנדל [6] רואים את זה.

אבי פלדמן: זה כמו שדיויד גילה (הממונה על ההגבלים העסקיים) אומר 'אני רק מעוניין בתחרות, כל השאר לא נוגע אלי...'

גרשון גרוסמן: יש בעולם דבר כזה? גוף שמסתכל על אספקטים גם של ייצוא וגם של רשת החשמל וגם של התעריפים וגם של מקומות העבודה?

דן וינשטוק: קוראים לזה ממשלה.

גרשון: אבל אתה מכיר מדינה שהטילה את זה על גוף מסוים?

עודד אגמון: (בסרקסטיות) אפשר להקים וועדה אם רוצים.

אבי ברנמילר: אני מכיר. אנחנו מקיימים פעילות כמובן גם מחוץ לישראל וגם בתוך ישראל, ולצדרי בסוף זה נגמר תמיד בחוץ עד היום. בהצעה דומה פנינו לממשלת דרום אפריקה. קיבלנו תשובה בשבוע האחרון, שאלו אותנו כמה מגה-וואט צריך כדי להקים תשתית ייצורית ולהבטיח את אותם 2000 מקומות עבודה. עניתי להם 500-700 מגה-וואט. אמרו "אוקי, קבל 700 מגה-וואט. כמה מקומות עבודה נקבל? כמה יעלה החשמל?...". העסק נסגר כמו עסקה מסחרית לכל עניין. מקבלים את האנרגיה הירוקה, מקבלים את החשמל במחירים יותר טובים ממה שהם מקבלים היום, מקבלים מקומות עבודה, סוגרים ומתכננים את כל העניין. מובילה את זה רשות החשמל הדרום-אפריקאית.

עודד אגמון: אז הנה – אחת ההמלצות צריכה להיות להרחיב את סמכויות רשות החשמל.

גרשון גרוסמן: בפורום האנרגיה הקודם (34) בנושא של קוגנרציה אנשים התלוננו שהרגולציה מפוזרת בין כל מיני גופים. לכן הציעו להקים שולחן עגול, ובו ישבו הנציגים של כל המשרדים בעלי העניין. כתבנו את זה בדו"ח. יתכן שכאן אפשר לעשות משהו דומה.

עודד אגמון: בשלב הראשון צריך להגדיר את הצרכים, ורק אז יהיה מקום להקים שולחן עגול כדי לראות איך מקדמים פרויקטים. אני חושב שהמדינה לא יודעת מה הצרכים שלה בנושא האגירה.

מרים לב און ויוחנן אור: נכון.

גדעון פרידמן: עודד - זו לא הגישה הנכונה.

עודד אגמון: הייתה המלצה שרשות החשמל תקבע תעריף... רשות החשמל יכולה לקדם הרבה דברים, אבל היא צריכה להישען על תכנית כללית שמכוונת אותה, ואז אנחנו יודעים לעשות את זה. עשינו זאת בפוטו-וולטאי, עשינו זאת ביזמות הפרטית, נעשה זאת בקוגנרציה, עושים זאת בכל דבר שרק אפשר, אבל צריך להחליט מראש מה המטרה הסופית, ואנחנו לא נמצאים שם בנושא של אגירה.

מרים לב-און: בנוגע לנושא של עידוד הטכנולוגיה – יש דוגמא בארץ: NewTech במשרד הכלכלה מעודדת טכנולוגיות באמצעות כספים, חממות, פעילות דרך הנציגים בעולם – פעילות שיווקית, לא טכנית.

יש הרבה מכשולים בדרך לפיתוח טכנולוגי, אני מסכימה, יש המכשול של פיתוח הטכנולוגיה והיישום שלו, ויש את ה-valley of death באמצע. מנקודת המבט שלנו מבחוץ, שואלים אותנו על טכנולוגיות ישראליות, אפילו דרך NewTech ודברים דומים. אחד הדברים ששואלים אותנו הוא: איפה זה מיושם בישראל? תנו לנו דוגמא שאפשר לראות משהו עובד, אפילו פרויקט חלוץ. אם אומרים שיש רק משהו על הנייר, ומחר יהיה משהו מצוין, סמוך עלי – זה לא יעזור.

אבי פלדמן: אני מסכים איתך לגמרי.

מרים לב-און: משרד האנרגיה האמריקאי, למרות שהוא לא תמיד הדוגמא הכי טובה, מממן הרבה פיתוחים, במיוחד Demonstration Projects, בנושא הזה, ואחד הדברים שנמצאים ב-Database שדיברתי עליו קודם הוא פרסום של הנתונים והתוצאות של כל הפרויקטים האלו.

אבי פלדמן: אם אני זוכר נכון, הפרויקטים האלו הם רק עבור טכנולוגיות שפותחו בארה"ב.

מרים לב-און: יש מגבלות למי שמעוניין להשתתף ב-Demonstration Projects, אבל האתר עם ה-Database פתוח לגמרי, כולל גם דברים מחוץ לארה"ב.

פרי לב-און: האתר פתוח. אבל המימון של הטכנולוגיות הוא רק עבור דברים שפיתחו בארה"ב.

מרים לב-און: אני רוצה להדגיש גם את הנושא של בטחון אנרגטי. זה מאוד חשוב. בארה"ב אמנם אינה הבעיה של נפילות טילים. אבל שם הפרספקטיבה אחרת – הם מתמודדים עם איתני טבע הרסניים. הם רואים את כלל הנושא של אגירה כדבר מאוד חשוב שישמור על אספקת חשמל לאוכלוסייה כשמתרחשים אסונות טבע.

נושא נוסף שקרוב לליבי הוא של ה-Peak Shavers שדיברו על אגירת גז. אולי זו לא דוגמה שמתאימה לישראל, אבל בארה"ב יש מערכת של קרוב ל-200 התקנים של Peak Shavers. אלו הן חברות שלוקחות גז מצנרת ההולכה, בערך 1% מהגז שמועבר לכל חברות החשמל, ומנזלים אותו בחצר המפעל בקצב מאוד מאוד איטי. זה משמש אותם בחורף, כי ברוב ארה"ב ההסקה היא בגז טבעי, ואז נוצרים ביקושים מאוד גבוהים במדינות הקרות של ארה"ב בהן החורפים מאוד קשים. כלומר, משתמשים במצבור הגז המנוזל כדי לאזן את החלוקה בין הגז שמיועד לחשמל לבין זה שמיועד להסקה. ולא מדובר במערכות גדולות או מסובכות; אלו מערכות ניזול די פשוטות.

עודד אגמון: האמת שלא שמעתי על מערכות פשוטות שמנזלות גז טבעי, אבל אשמח לראות דבר כזה.

מרים לב-און: לא עודד, אני מדברת על מערכות מאוד פשוטות יחסית, זה בכלל לא קרוב לדברים שאתה מדבר עליהם.

עודד אגמון: אלו דברים שאנחנו לא מכירים.

מרים לב און: כתבנו מסמך הנחיות שמתאר את מחזור החיים של ניזול הגז וכימות פליטות גזי חממה מגז טבעי מנוזל בכל אחד משלבי המגזר. במסמך זה אנחנו מתארים גם את המתקנים הקטנים האלה הידועים כ-Peak Shavers.

עודד אגמון: קודם שתהיה לנו חלוקת גז.

גרשון גרוסמן: ב-DOE הייתה תכנית לפני כ-20 שנה שנועדה לפתור את הבעיה של ה-Peak Shaving, אבל הבעיה היא כפולה: ברוב המקומות, למשל במערב התיכון (Mid West), משתמשים בגז לחימום בחורף, כמו שאמרת, ובקיץ כל תשתית אספקת הגז מושבתת, אבל מצד שני יש שיא ביקוש לחשמל בגלל מיזוג אוויר. ניסו לפתור את שתי הבעיות ביחד ולפתח סוג של משאבת חום שעובדת גם לחימום וגם לקירור, על גז (מערכת ספיגה). הייתי קצת מעורב בזה. היו שתי תכניות במקביל, ה-DOE התחיל עם זה ובמקביל היה אז ארגון שנקרא Gas Research Institute (ארגון גז של חברות הגז בדומה ל-EPRI רק לא לחשמל אלא לגז). פיתחו אבטיפוס של משאבת חום שעובדת על אמוניה-מים, שבקיץ מספקת מיזוג אוויר ב-COP של בערך 0.6 (שזה לא מצוין אבל לא רע), ובחורף היא מספקת חימום ב-COP גדול מ-1. למרבה הצער השוק לא היה מוכן לזה, זה היה יקר מדי. אבל מבחינת הרשת זה היה מצוין מפני שזה באמת מגלח את שני השיאים, גם של ביקוש גז וגם של ביקוש חשמל.

רון נזר: אני, גם ברמה הביתית, חשוף להרבה מאוד טכנולוגיות וזה משהו מאוד דינמי. אבל הדבר הכי פשוט, שלא דורש שום טכנולוגיה - שיפורסם מחיר לפי המיקום ברשת, מחיר שבו מוכרים ומחיר שבו קונים. וכל עוד מבקרים ומוודאים שהמתקן מספק חשמל באיכות הנדרשת והוא לא מסוכן, אז שכל אחד יחבר מה שהוא רוצה. כל יזם יכול להחליט אם לבצע פרויקט, בין אם זה אגירה שאובה, או סוללה לבית או כל דבר אחר.

גדעון פרידמן: היזמים לא רוצים.

רון נזר: במשך הזמן יתכן שזה יגרום להתייצבות של הרשת, יאבדו בזה עניין, המחירים יצטמצמו, יפסיקו את זה; בתקופה אחרת זה יתרחב ואנשים יבצעו יותר פרויקטים - שוק חופשי בתחום האגירה, שיהיה אפשר לעבוד.

עודד אגמון: אני אענה על זה בשני מישורים. אחד - כל צרכן יכול לעשות כאוות נפשו בעניין הזה. אם יש לו סוללות, אף אחד לא ימנע מצרכן לאגור חשמל בשפל ולהשתמש בו בפסגה. הוא לא צריך להזרים לרשת, הוא דואג לעצמו. כמו שיש מתקן לאגירת קור בלילה, על אותו משקל.

דבר נוסף, שיכול לעלות מפגישה כזאת כהמלצה: אם באמת העניין של אגירה הוא נושא בעל חשיבות לאומית, יש להכניס אותו למסגרת של האנרגיות המתחדשות. כלומר, עד גבול מסוים וכמות מסוימת, מתקן אגירה הוא כמו מתקן אנרגיה מתחדשת, וכל ההסדרות שחלות על מתקנים באנרגיות מתחדשות (חובת הרכישה, שיפור התעריפים, וכו') תקפות. אבל זה צריך להתקבל במסגרת החלטה של משק לאומי. אני מתחבר מאוד לרעיון הזה. אבל זה בתנאי שבאמת רוצים במדינת ישראל אגירה, וחשוב גם לקבוע כמה אגירה ואיזה סוג של אגירה. אני חושב שאחת הדילמות הקשות היא מה סוג האגירה -

אגירה מידית? אגירה ל-7 שעות? 3 שעות? נעשתה עבודה בחברת החשמל שאומרת שצריך אגירה, אבל לא יותר מדי מורכבת, מספיק אגירה של 3 שעות, וזה יספיק לכל ספקטרום הצרכים של מדינת ישראל. אם מאמצים מדיניות כזאת, אז יש טכנולוגיות שכדאי לפתח ויש כאלה שלא. לכן צריך להגדיר מה סוג האגירה, מה הפרמטרים הדינמיים של אותה אגירה, מאפייני ההתנעה, מתי אפשר לשלב אותה ומתי אי אפשר, וכו'. זה לא עניין פשוט כמו לקבוע תעריף וזהו, זה כבר נקבע דרך התעו"ז. לקבוע תעריף לאגירה זה משהו הרבה יותר מורכב כי צריך לדעת גם מה סוג האגירה, ומה ההיקף. בארה"ב לאחרונה יצא מסמך שמדבר על שירותים נלווים. התמחור של זה מאוד לא פשוט, בוודאי שלא בשוק תחרותי. אני חושב שכדאי שהמדינה תיכנס לעניין הזה ותקבע את היעדים.

פרק 5: סיכום והמלצות

נתונים שהוצגו בפורום מציינים כי נכון לאוגוסט 2014 קיימת בעולם יכולת אגירה של כ-145 ג'יגה-וואט מותקן. 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), 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.
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.
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.

פרק 6: רשימת מקורות

1. [U.S. DOE Global Energy Storage Database \(GESD\);](#)
2. [Energy Storage Association \(ASA\);](#)
3. [DOE/EPRI Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA, Revised 2015;](#)
4. [U.S. DOE, Energy Storage Safety Strategic Plan, Office of Electricity, December 2014;](#)
5. [CASIO, Advancing and maximizing the value of Energy Storage Technology: A California Roadmap; December 2014;](#)
6. [דו"ח הוועדה לבחינת התועלת הכלכלית של אנרגיות מתחדשות. המלצות הצוות הבין-משרדי בראשות י. קנדל, המועצה הלאומית לכלכלה, משרד ראש הממשלה \(2013\)](#)

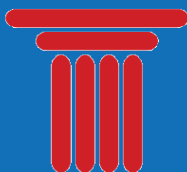
6. ד"ר גלעד פורטונה, שירי פרוינד קורן, עידן ליבס, "תעשיית האנרגיות המתחדשות וההתייעלות האנרגטית בישראל: עדכון מצב והמלצות מדיניות למינוף המו"פ והתעשייה הישראלית", מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות, אוקטובר 2015

נספח 1: תכנית פורום אנרגיה: אגירת אנרגיה בייצור חשמל, 15.6.2015

זמנים	פעילות
13:10-13:00	פתיחה
14:50-13:10	- פרופ' עמנואל פלד, אוניברסיטת ת"א: חידושים באגירת חשמל רבת היקף בשיטות אלקטרוכימיות - מר יוחנן אור, אלקטרה בע"מ: סטטוס פרויקט אגירה שאובה בגלבע - מר אבי ברנמילר, ברנמילר אנרגיה בע"מ: Flexible boiler – storing and generating energy from different heat sources - ד"ר שוקי וולפוס, אוניברסיטת בר-אילן: אגירת אנרגיה בסלילים מוליכי-על - מר רון נזר, אביב טכנולוגיות / אינטרדן בע"מ: מגמות בטכנולוגיות מצברים לפתרונות ניידים וסטציונריים, כתחליף לתשתית רשת החשמל - ד"ר דן וינשטוק, יועץ אנרגיה: כלי רכב חשמליים כאוגרי אנרגיה לשימוש מערכת החשמל – יתרונות וחסרונות - מר עמק שדות, יועץ אנרגיה: תחרות בינ"ל ברשת חכמה - ד"ר מרים וד"ר פרי לב-און, קבוצת לב-און: Advancing the Implementation of Energy Storage Technologies in the U.S.A - ד"ר דן שגיא: פיתוחים לאגירה חשמלית ברותם תעשיות ובקפיטל נייצ'ר
15:10-14:50	הפסקה
17:00-15:10	דיון פתוח, תוך התמקדות בשאלות הבאות: - מהן השיטות הרלבנטיות לאגירת אנרגיה בייצור חשמל? - מה יכולה וצריכה הממשלה לעשות לקידום הנושא? - מה ידוע על אגירת אנרגיה לייצור חשמל בעולם ומה ניתן ללמוד מכך לגבי ישראל?
17:00	סיום

מפגשי פורום האנרגיה של מוסד נאמן (www.neaman.org.il)

<u>שנה</u>	<u>פרויקט</u>
2015	פורום האנרגיה ה- 34 : ייצור משולב של חום וחשמל
2014	פורום האנרגיה ה- 33 : הרפורמה במשק החשמל בישראל
2014	פורום האנרגיה ה- 32 : ניצול מיטבי של הגז הטבעי המקומי, לרבות סוגיית היצוא
2014	פורום האנרגיה ה- 31 : ביומסה לאנרגיה בישראל
2013	פורום האנרגיה ה- 30 : חשמל מאנרגיה סולארית בישראל
2013	פורום האנרגיה ה- 29 : עיר חכמה
2013	פורום האנרגיה ה- 28 : תחבורה יבשתית בת קיימא : היבטי אנרגיה וסביבה
2013	פורום האנרגיה ה- 27 : רשת חשמל חכמה כמנוע צמיחה לתעשייה בישראל
2012	פורום האנרגיה ה- 26 : ניצול פצלי שמן בישראל
2012	פורום האנרגיה ה- 25 : משק האנרגיה בישראל - חזון 2028
2012	פורום האנרגיה ה- 24 : אנרגית שמש לבנייני מגורים בישראל
2011	פורום האנרגיה ה- 23 : ניצול אנרגית הרוח בישראל
2011	פורום האנרגיה ה- 22 : תחנת כוח גרעינית בישראל
2011	פורום האנרגיה ה- 21 : שיפוץ אנרגטי של בניינים
2011	פורום האנרגיה ה- 20 : מערכות פוטו וולטאיות מחוברות-רשת למגזר הביתי והמסחרי
2010	פורום האנרגיה ה- 19 : חיסכון באנרגיה במערכות תאורה
2010	פורום האנרגיה ה- 18 : מיזוג אויר סולארי בישראל
2010	פורום האנרגיה ה- 17 : השלכות חדירת גז טבעי למשק האנרגיה של ישראל
2010	פורום האנרגיה ה- 16 : רשת חשמל חכמה
2009	פורום האנרגיה ה- 15 : התייעלות אנרגטית ברשויות המקומיות בישראל
2009	פורום האנרגיה ה- 14 : רכב חשמלי והיברדי
2009	פורום האנרגיה ה- 13 : תחנות כוח סולאריות בישראל
2008	פורום האנרגיה ה- 12 : אנרגיה במשק המים
2008	פורום האנרגיה ה- 11 : בניה חסכונית באנרגיה
2008	פורום האנרגיה ה- 10 : השפעות בריאותיות וסביבתיות של השימוש בגז טבעי בישראל
2008	פורום האנרגיה ה- 9 : מקומה של ישראל בשוק הביואתנול העולמי
2007	פורום האנרגיה ה- 8 : ניהול ביקושים ואספקה
2007	פורום האנרגיה ה- 7 : בידלקים להפקת אנרגיה
2007	פורום האנרגיה ה- 6 : חיסכון במערכות מיזוג אוויר
2007	פורום האנרגיה ה- 5 : צרכי המחקר באנרגיה חלופית בישראל
2007	פורום האנרגיה ה- 4 : אנרגיית השמש להפקת חום
2006	פורום האנרגיה ה- 3 : הפקת אנרגיה מפסולת
2006	פורום האנרגיה ה- 2 : מערכות משולבות ליצירת חום וחשמל (קוגנרציה)
2006	פורום האנרגיה ה- 1 : חשמל ממערכות פוטו-וולטאיות



מוסד שמואל נאמן

למחקר מדיניות לאומית

הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל

טל. 04-8292329, פקס. 04-8231889

קרית הטכניון, חיפה 32000

www.neaman.org.il