



אנרגיה וסביבה

אתגר רשת החשמל – הולכה, ניצול אופטימלי של משאבי הרשת וייצור מקומי סיכום והמלצות דיון פורום אנרגיה 51

פרופ' גרשון גרוסמן
נעמה שפירא



תכנון
ארוך טווח

תעשייה
וחדשנות

תשתיות
פיזיות

בריאות

הון
אנושי

השכלה
גבוהה

חברה

חינוך

כלכלה

מדע
וטכנולוגיה

אפריל
2022

אתגר רשת החשמל – הולכה, ניצול אופטימלי של משאבי הרשת וייצור מקומי

סיכום והמלצות דיון
פורום האנרגיה של מוסד שמואל נאמן
מיום 29/12/2021

נערך על ידי:
פרופ' גרשון גרוסמן
נעמה שפירא

אפריל 2022

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

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

פרופ' אילון אופירה – ראש צוות אנרגיה וסביבה, מוסד שמואל נאמן
ד"ר גל נורית – מנכ"לית e-NRGY, לשעבר סמנכ"לית רשות החשמל
פרופ' גרוסמן גרשון – ראש פורום האנרגיה, מוסד שמואל נאמן
ד"ר דולב שחר – מנהל תחום בכיר פיתוח מודלים ומדיניות ארוכת טווח, משרד האנרגיה
גב' הוכנר דורית – מנהלת אגף בכירה תכנון פיזי, משרד האנרגיה
ד"ר הרמן יעל – ראש תחום טכנולוגיות ואנרגיות מתחדשות, המדען הראשי, משרד האנרגיה
ד"ר וינשטוק דן – יועץ חשמל בכיר
ד"ר זרחיה עוזי – נגה, חברת ניהול המערכת
פרופ' לברון יואש – הפקולטה להנדסת חשמל, הטכניון
מר ליבס עידן – חוקר בצוות אנרגיה וסביבה, מוסד שמואל נאמן
מר נבון אביעד – הפקולטה להנדסת חשמל, הטכניון
ד"ר פרידמן גדעון – המדען הראשי (בפועל), משרד האנרגיה
מר פרידמן הרצל – מנהל אגף הנדסת רשת, חברת החשמל
פרופ' קופרמן אלון – ביה"ס להנדסת חשמל ומחשבים, אוניברסיטת בן גוריון
ד"ר קירו רותי – אגף איכות אוויר ושינוי אקלים, המשרד להגנת הסביבה
מר רשף ברק – יועץ חשמל עצמאי, לשעבר אחראי על תכנון מערכת ההולכה בחח"י וסמנכ"ל פיתוח בנגה
מר שטרן רמי – סגן מנהל אגף הנדסת רשת ומנהל מגזר הנדסת הולכה ואגירה, חברת החשמל
גב' שפירא נעמה – חוקרת בצוות אנרגיה וסביבה, מוסד שמואל נאמן

הבעת תודה

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

3.....	רשימת משתתפי הפורום.....
5.....	תקציר מנהלים.....
7.....	הקדמה.....
8.....	רקע.....
10.....	מידע: אתגר רשת החשמל – הולכה, ניצול אופטימלי של משאבי הרשת וייצור מקומי.....
18.....	דיון.....
25.....	סיכום והמלצות.....
27.....	נספח 1: תוכנית פורום האנרגיה.....

לאור משבר האקלים, יעדי הפחתת פליטות גזי החממה העולמיים ייעשו יותר שאפתניים עם הזמן, ומדינת ישראל לצד כל מדינות העולם, תדרש להעמיק את יעדיה.

באוקטובר 2020 החליטה ממשלת ישראל להגדיל את היעד לייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת בשנת 2030 ל-30%, עם יעד ביניים של 20% בשנת 2025. במדינת ישראל אנרגיה מתחדשת היא בעיקר אנרגיה סולארית – על פי רשות החשמל, בסוף שנת 2020 ההספק המותקן הכולל של אנרגיות מתחדשות במשק עמד על כ-2.5 ג'יגה-ואט, כאשר אנרגיה סולארית (מתקנים פוטו-וולטאיים קרקעיים ובדו שימוש, ומתקנים תרמו סולאריים) מהווה למעלה מ-95% מהספק זה. על פי התחזית של רשות החשמל, בכדי לעמוד ביעד הביניים בסוף שנת 2025 ההספק הכולל של אנרגיות מתחדשות צפוי לגדול עד שנה זו פי 4 (לכ-9.8 ג'יגה-ואט). על פי התחזית של משרד האנרגיה, כדי לבסס משק אנרגיה דל פחמן בשנת 2050 (שילוב של 87% אנרגיה סולארית בתמהיל הדלקים) ההספק הסולארי הנדרש בשנה זו יגיע ל-109 ג'יגה-ואט.

לאנרגיות מתחדשות בכלל, ולאנרגיה סולארית בפרט, תועלות רבות הן בהיבט הכלכלי והן בהיבט הסביבתי, עם זאת, אנרגיה סולארית אשר מיוצרת בהיקפים גדולים בזמנים מסוימים, אך לא נותנת מענה כלל בזמנים אחרים, מעמידה אתגרים חדשים ומשמעותיים לניהול רשת החשמל, אתגרים אלו ניתן לחלק לשלוש קטגוריות:

- **אתגר איזון הספק ברשת** – בייצור חשמל באמצעות מקורות קונבנציונליים יש אפשרות להתאים את הייצור לצריכה, אך יכולת השליטה מוגבלת כאשר מדובר על אנרגיות מתחדשות כגון סולארי ורוח, ובזמנים מסוימים עשוי להיווצר עודף או מחסור באנרגיה. הדבר נכון במיוחד בישראל שבה רשת החשמל אינה מחוברת למדינות שכנות (אי אנרגטי), מה שמצמצם את יכולתה לאזן את ההספקים באמצעות סחר בחשמל. לפיכך, יש לשפר את יכולת השליטה בפרופיל הייצור ו/או הצריכה, לדוגמה באמצעות מנגנוני ניהול עומסים או אגירה.

- **אתגר הולכת אנרגיה** – באופן מסורתי, תחנות כוח גדולות בעלות כושר ייצור של עשרות או מאות מגה-ואטים צורכות יחסית מעט שטח וניתן למקם אותן בסמוך למרכזי הצריכה. כתוצאה מכך, מבנה הרשת המסורתית הוא כזה שיכולת העברת ההספק היא גבוהה בסמוך לתחנות הכוח במרכזי הצריכה, ויורדת עם ההתרחקות לאזורים פריפריאליים. עם זאת, אנרגיה מתחדשת מחייבת התייחסות שונה מניהול הרשת המסורתית.

מצד אחד, מתקני אנרגיה מתחדשת בעלי יכולת ייצור גדולה תופסים הרבה שטח ולכן מתבקש למקם אותם בפריפריה, אלא שאז נתקלים באחת הבעיות המשמעותיות שהיא בעיית החיבור לרשת, שיכולה להתבטא בשני אופנים – גודש בהולכה (רשת ההולכה עמוסה ואינה מאפשרת חיבור באזור זה) או גודש בהשנאה (מתקנים המוקמים במתח גבוה אינם יכולים להתחבר למתח העליון, שכן תחנות ההשנאה גדושות).

מצד שני, בגלל מחסור בשטח ישנה שאיפה לביזור המתקנים – למקם מתקנים סולאריים קטנים יותר על שימושי קרקע קיימים (מגורים, תעשייה, חקלאות, תשתיות ועוד). זה אמנם מקרב את הייצור לצריכה, וכביכול מצמצם את הצורך בפיתוח הרשת, אך בשעות של ייצור גבוה וצריכה נמוכה יכול לייצור עומס על הרשת.

בהקשר הישראלי אתגר הולכת האנרגיה הוא אולי לא הכי חשוב אבל בהכרח הכי דחוף.

• **אתגר של דינמיקה ובקרה** – הייצור צריך להיות שווה לצריכה בכל רגע נתון, אחרת מקבלים שינויים בתדר. יציבות התדר היא קריטית לפעולה תקינה של המערכת. כיום, יציבות התדר נשמרת באמצעות שני מנגנונים – מנגנון של אינרציה ומנגנון של מערכות בקרה אוטומטיות. במתקני אנרגיה מתחדשת אין כיום מנגנונים כאלה, אך ניתן להוסיף אותם. כמובן שהוספת מנגנונים כאלה כרוכה בעלות כלכלית ולכן נדרשת רגולציה שתחייב את התקנתם לתמיכה בפעולה תקינה של המערכת.

מכאן שיישום נרחב של אנרגיה סולארית מחייב הוספת פתרונות תומכים, כגון, אגירה שעתית ואף עונתית, ופיתוח משמעותי של רשת ההולכה, תהליך שלוקח שנים רבות וכרוך באתגרים כלכליים ותכנוניים לא מבוטלים. כבר היום, אתגר הרשת מהווה צוואר בקבוק לשילוב אנרגיות מתחדשות, ולאור יעדים שאפתניים של שילוב אנרגיה סולארית, הבעיה צפויה להחמיר עם השנים. מעבר למתן מענה לאתגרים הטכניים של רשת ההולכה, הגשמת יעדי הממשלה מחייבת, במיוחד במדינה קטנה וצפופה כמו ישראל, גם התייחסות לסוגיות עקרוניות הקשורות למשאב הקרקע שנמצא במחסור.

המלצות הפורום:

1. **פתרונות לטווח הקרוב** – בטווח הבינוני והארוך ניתן יהיה לראות ניצנים של תוכנית פיתוח הרשת החדשה, אך בטווח הקרוב מומלץ לגבש תוכנית מערכתית להגשמת הפוטנציאל המשקי – תוכנית שתבחן בצורה שיטתית את החסמים ותאפיין את הפתרונות המומלצים, כולל קידום שינויים רגולטוריים ויישום אמצעים טכנולוגיים, שיאפשרו את מיצוי הרשת הקיימת. יש לשקול פתרונות שנותנים מענה מיידי גם במחיר של כדאיות כלכלית.
2. **מפת דרכים ליישום** – מומלץ לגבש עקרונות לשילוב אנרגיות מתחדשות במשק החשמל בשיתוף כל הגורמים הרלוונטיים, אשר יתבססו לצד ההיבטים הטכנו-כלכליים גם על היבטים תכנוניים, חברתיים וסביבתיים, תוך התייחסות לסוגיות של ייצור מרוכז למול ייצור מבוזר, פריסה גאוגרפית, פיתוח קרקעי בשטחים הפתוחים למול פיתוח על שימושי קרקע קיימים, ועוד.
3. **שילוב אנרגיות מתחדשות** – יש לבחון מודלים שונים לתמיכה בשילוב אנרגיות ומתחדשות, ובתוך כך – יצירת תוכנית פיתוח לרשת החלוקה אשר מכוונת לקליטת אנרגיות מתחדשות בשטחים מבונים ובדו-שימוש (בגגות, קירות וגדרות ובשימושי קרקע מגוונים), ותוך ניהול צד הצריכה; יצירת תמריצים (תעריפיים ואחרים) לייצור האנרגיה הסולארית קרוב לאיזורי הביקוש; ובחינת מודלים של סחר המקובלים בעולם המאפשרים חיבור יצרנים נוספים על רשת קיימת.
4. **אגירה** – מומלץ לקדם מכרזים של אגירה במתח גבוה, כולל מכרזים של stand alone, מכרזים במתקנים קיימים של אנרגיה סולארית, ומתקנים בדו-שימוש. למתקני אגירה יש שימושים רבים כגון איזון הספק, איזון תדר, והפחתת העומס על הרשת, ועל כן מומלץ להוסיף אגירה ולחסוך בעלויות של פיתוח הרשת.
5. **רגולציה ותקינה** – יש לקדם תקינה ורגולציה הרלוונטיות לתחום שיבטיחו ניצול אופטימלי של הרשת והמנעות מהשקעות עודפות בעתיד, ובתוך כך – לקבוע אמות מידה אחידות לסקרי חיבור סולארי, ובפרט ליחס הספק סולארי-שנאי; ולקדם רגולציה שמחייבת ניהול טעינה של רכבים חשמליים. עם זאת, נדרשת רגולציה שתאפשר חדירה של טכנולוגיות חדשות ללא צורך בשינויים רגולטוריים תכופים.
6. **קידום חדשנות** – יש לתמוך בבחינה תאורטית ומעשית (יישום פיילוטים) של טכנולוגיות שונות – טכנולוגיות לייצור חשמל נקי (מימן ירוק, אנרגיה גרעינית), טכנולוגיות אגירה, טכנולוגיות הולכה (הולכה במימן, הולכה בזרם ישר), טכנולוגיות ניהול, ועוד.

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

המפגש הדין בנושא: "אתגר רשת החשמל – הולכה, ניצול אופטימלי של משאבי הרשת וייצור מקומי", התקיים ב-29 לדצמבר 2021 באופן מקוון. השתתפו בו מומחים בתחום מהיבטיו השונים, וכן נציגים של הממסד הציבורי. המשתתפים בפורום, שנבחרו בקפידה הודות למומחיותם, מהווים, ללא ספק, קבוצה ייחודית ובעלת ידע מקצועי ראשון במעלה בתחום.

בחלקו הראשון של המפגש הציגו חלק מהמשתתפים מצגות בנושא הדיון על היבטיו השונים. מצגות המשתתפים אשר אושרו על ידם לפרסום נמצאות באתר מוסד שמואל נאמן: <http://neaman.org.il/Energy-Forum-Meetings>. בחלק השני התקיים דיון פתוח על המידע שהוצג ועל המסקנות האופרטיביות שיש להפיק ממנו. בפני משתתפי הדיון עמדו מספר שאלות, שהוכנו מראש, כמפורט בתוכנית הפורום (נספח 1).

תמצית הדיונים מסוכמת בדו"ח להלן, וכמו בדיונים הקודמים, הוא יוגש למקבלי ההחלטות במטרה להביא אל סדר היום את מכלול השיקולים והפעולות הנדרשות על מנת לבחון את האפשרויות השונות להתמודדות עם אתגרי רשת החשמל, בכל הנוגע להיבטים של הולכה, ניצול אופטימלי של משאבי הרשת וייצור מקומי.

ברחבי העולם מחפשים דרכים יעילות לצמצום פליטות גזי החממה ולמיתון השפעות משבר האקלים תוך ביסוס איכות חיים לתושבים, הנוכחיים והעתידיים. הפקת אנרגיה ממקורות מתחדשים הינה אחת מהאסטרטגיות הראשיות בהתמודדות עם משבר האקלים.

באוקטובר 2020 החליטה ממשלת ישראל להגדיל את היעד לייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת בשנת 2030 ל-30%, עם יעד ביניים של 20% בשנת 2025¹. במדינת ישראל אנרגיה מתחדשת היא בעיקר אנרגיה סולארית – על פי רשות החשמל², בסוף שנת 2020 ההספק המותקן הכולל של אנרגיות מתחדשות במשק עמד על כ-2.5 ג'יגה-ואט³, כאשר אנרגיה סולארית (מתקנים פוטו-וולטאיים קרקעיים ובדו שימוש, ומתקנים תרמו סולאריים) מהווה למעלה מ-95% מהספק זה. על פי התחזית של רשות החשמל, בכדי לעמוד ביעד הביניים בסוף שנת 2025 ההספק הכולל של אנרגיות מתחדשות צפוי לגדול עד שנה זו פי 4 (לכ-9.8 ג'יגה-ואט). על פי התחזית של משרד האנרגיה⁴, כדי לבסס משק אנרגיה דל פחמן בשנת 2050 (שילוב של 87% אנרגיה סולארית בתמהיל הדלקים) ההספק הסולארי הנדרש בשנה זו יגיע ל-109 ג'יגה-ואט.

לאנרגיות מתחדשות בכלל, ולאנרגיה סולארית בפרט, תועלות רבות הן בהיבט הכלכלי והן בהיבט הסביבתי, עם זאת, אנרגיה סולארית אשר מיוצרת בהיקפים גדולים בזמנים מסוימים, אך לא נותנת מענה כלל בזמנים אחרים, מעמידה אתגרים חדשים ומשמעותיים לניהול רשת החשמל, אתגרים אלו ניתן לחלק לשלוש קטגוריות:

- **אתגר איזון הספק ברשת** – בייצור חשמל באמצעות מקורות קונבנציונליים יש אפשרות להתאים את הייצור לצריכה, אך יכולת השליטה מוגבלת כאשר מדובר על אנרגיות מתחדשות כגון סולארי ורוח, ובזמנים מסוימים עשוי להיווצר עודף או מחסור באנרגיה. הדבר נכון במיוחד בישראל שבה רשת החשמל אינה מחוברת למדינות שכנות (אי אנרגטי), מה שמצמצם את יכולתה לאזן את ההספקים באמצעות סחר בחשמל. לפיכך, יש לשפר את יכולת השליטה בפרופיל הייצור ו/או הצריכה, לדוגמה באמצעות מנגנוני ניהול עומסים או אגירה.
 - **אתגר הולכת אנרגיה** – באופן מסורתי, תחנות כוח גדולות בעלות כושר ייצור של עשרות או מאות מגה-ואטים צורכות יחסית מעט שטח וניתן למקם אותן בסמוך למרכזי הצריכה. כתוצאה מכך, מבנה הרשת המסורתית הוא כזה שיכולת העברת ההספק היא גבוהה בסמוך לתחנות הכוח במרכזי הצריכה, ויורדת עם ההתרחקות לאזורים פריפריאליים. עם זאת, אנרגיה מתחדשת מחייבת התייחסות שונה מניהול הרשת המסורתית.
- מצד אחד, מתקני אנרגיה מתחדשת בעלי יכולת ייצור גדולה תופסים הרבה שטח ולכן מתבקש למקם אותם בפריפריה, אלא שאז נתקלים באחת הבעיות המשמעותיות שהיא בעיית החיבור לרשת, שיכולה להתבטא

¹ החלטת ממשלה 465, מיום 25.10.2020. קידום אנרגיה מתחדשת במשק החשמל.
https://www.gov.il/he/departments/policies/dec465_2020

² רשות החשמל (2021). זו"ח מצב משק החשמל לשנת 2020.
https://www.gov.il/BlobFolder/generalpage/dochmeshek/he/Files_Netunei_hashmal_doch_reshut_hashmal_2020_malle_n.xlsx.pdf

³ הספק זה היווה כ-13% מההספק המותקן במשק בסוף 2020, וכ-6% מייצור החשמל בפועל בשנה זו.

⁴ משרד האנרגיה (2021). מפת הדרכים למשק אנרגיה דל פחמן עד שנת 2050.
https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/energy_121021

בשני אופנים – גודש בהולכה (רשת ההולכה עמוסה ואינה מאפשרת חיבור באזור זה) או גודש בהשנאה (מתקנים המוקמים במתח גבוה אינם יכולים להתחבר למתח העליון, שכן תחנות ההשנאה גדושות). מצד שני, בגלל מחסור בשטח ישנה שאיפה לביזור המתקנים – למקם מתקנים סולאריים קטנים יותר על שימושי קרקע קיימים (מגורים, תעשייה, חקלאות, תשתיות ועוד). זה אמנם מקרב את הייצור לצריכה, וכביכול מצמצם את הצורך בפיתוח הרשת, אך בשעות של ייצור גבוה וצריכה נמוכה יכול ליצור עומס על הרשת.

בהקשר הישראלי אתגר הולכת האנרגיה הוא אולי לא הכי חשוב אבל בהכרח הכי דחוף.

- **אתגר של דינמיקה ובקרה** – הייצור צריך להיות שווה לצריכה בכל רגע נתון, אחרת מקבלים שינויים בתדר. יציבות התדר היא קריטית לפעולה תקינה של המערכת. כיום, יציבות התדר נשמרת באמצעות שני מנגנונים – מנגנון של אינרציה ומנגנון של מערכות בקרה אוטומטיות. במתקני אנרגיה מתחדשת אין כיום מנגנונים כאלה, אך ניתן להוסיף אותם. כמובן שהוספת מנגנונים כאלה כרוכה בעלות כלכלית ולכן נדרשת רגולציה שתחייב את התקנתם לתמיכה בפעולה תקינה של המערכת.

לאתגרים אלו יש מגוון פתרונות – בטווח הארוך, היקפי ההספק שצריך יהיה לחבר לרשת החשמל, יחייבו כפי הנראה פיתוח של רשת ההולכה, אך זהו תהליך שלוקח שנים רבות וכרוך באתגרים כלכליים ותכנוניים לא מבוטלים. יחד עם זאת, כפתרון לטווח הקרוב, ניתן לקדם שינויים רגולטוריים וליישם אמצעים טכנולוגיים שיאפשרו האצת חיבור אנרגיה מתחדשת באמצעות מיצוי הרשת הקיימת.

3. מידע: אתגר רשת החשמל – הולכה, ניצול אופטימלי של משאבי הרשת וייצור מקומי

בחלק זה של הדו"ח ניתנת תמצית המידע שהוצג על ידי חלק מן המשתתפים, כל אחד לפי בחירתו ומומחיותו. קבצי המצגות שהוכנו על ידי הדוברים מוצגים, כאמור, באתר מוסד שמואל נאמן (<http://neaman.org.il/Energy-Forum-Meetings>). מטבע הדברים, קיימת חפיפה מסוימת בין הדוברים השונים, אולם עורכי הדו"ח החליטו להביאם כאן כפי שהוצגו ובאותו הסדר (ראה תוכנית הפורום בנספח 1). מידע זה חשוב ומהווה בחלקו בסיס לדיון הפתוח שהתקיים לאחר מכן, כפי שמובא בפרק 4.

ד"ר יעל הרמן – ראש תחום טכנולוגיות ואנרגיות מתחדשות, המדען הראשי, משרד האנרגיה אימוץ חדשנות במשק החשמל – צעדים ראשונים

בשנים האחרונות קודמו במשק החשמל בישראל מספר צעדי מדיניות שתכליתם מעבר למשק אנרגיה נקי, ובהם הפסקת השימוש בפחם בשנת 2025 ויעד של 30% אנרגיות מתחדשות בייצור חשמל בשנת 2030. עם זאת, בסוף שנת 2021 אנחנו רק מתקרבים להשגת היעד של 10% אנרגיות מתחדשות שנקבע לשנת 2020. בנוסף, נכון לסוף שנת 2020, למעלה מ-60% (1,390 מגה-ואט מתוך 2,248 מגה-ואט מותקן) מהאנרגיה המתחדשת היתה אנרגיה מבזרת, שמחייבת התייחסות שונה מניהול הרשת המסורתית. מכאן, שבכדי להשיג את היעדים השאפתניים שנקבעו למשק בשנת 2050 נדרש ליישם טכנולוגיות חדשניות, שחלקן אף אינן ידועות כיום, ומכאן גם החשיבות הרבה לתמיכה מקיפה במו"פ.

יחידת המדען הראשי במשרד האנרגיה עוסקת בעידוד חדשנות ויזמות במשק האנרגיה, המים ואוצרות הטבע באמצעות השקעה במו"פ באקדמיה, בחברות הזנק, ופרויקטי חלוץ והדגמה; משמשת כמרכז ידע עבור המשק ויחידות אחרות במשרד האנרגיה; ומסייעת בשמירה ופיתוח התשתיות הפיזיות, האנושיות והטכנולוגיות של ישראל לאורך זמן.

מדיניות התמיכה במו"פ נגזרת מצרכי היחידות במשרד, כאשר המדען מקדם חדשנות באמצעות **קולות קוראים ואישורים**. במסגרת הקולות הקוראים ישנו מימון מלא למחקרים אקדמיים יישומיים בהיקף של מאות אלפי שקלים, וגם מימון חלקי של מיליוני שקלים לקידום חדשנות תעשייתית במסגרת הזנק או חלוץ והדגמה. לדוגמא, השנה נתנו מענקים בסך 20 מיליון שקלים לפתרונות אגירה מגוונים ויצירתיים – סוללות מבוססות ליתיום-יון, פתרונות אגירה במימן, אוויר דחוס ועוד. הכוונה לאפשר את קידום הרגולציה במקביל למימוש הפרויקטים וכן להגדיל את היקף האגירה במשק החשמל. במסגרת האישורים יש בידינו שני כלים: הראשון הוא מכסת חלוץ – הנוהל מאפשר למדען הראשי של משרד האנרגיה לסווג מתקן ייצור חשמל כמתקן חלוץ של טכנולוגיה חדשנית ולקבוע הספק למתקן. סיווג זה מסמיך את רשות החשמל להעניק ליזם רשיון חיבור לרשת על אף שהמתקן אינו עומד באמות המידה ובדרישות הרגולטוריות הקיימות. הכלי השני הינו אישור ניסוי במשק החשמל (אמת מידה 7ד') – זו למעשה החרגה מאמות המידה לצורך ביצוע ניסוי במשק החשמל, ובמידה והמדען הראשי אישר זאת, ניתן להגיש בקשה לרשות החשמל ולספק שירות חיוני (מנהל המערכת או חברת החשמל), והם מחוייבים לתת תשובה עניינית בתוך 45 ימי עבודה. זה מאוד עוזר לקדם את הפרויקט, מאפשר גם לקבל תשלום בגין הפעילות, ובפועל מאפשר לנסות דברים חדשים ולפתח את משק החשמל.

המקרה הראשון שבו נעשה שימוש באמת מידה 7ד' היה לנושא של השלת ביקושים. בארץ כרגע זה נעשה בצורה מיושנת, בפנייה יזומה פרטנית לצרכנים גדולים, בעוד שבעולם הנושא של ניהול צד הביקוש, באמצעות אגרגטורים, כולל גם את היבט ניהול הצריכה של הצרכנים אבל גם את היותם ספקים פוטנציאליים, וזאת כאמצעי לאיזון המערכת, תוך שימוש במנגנונים של ויסות תדר, השלה מרצון ועוד. אלו כלים מאוד חשובים לצורך ייצוב רשת החשמל בעיקר לנוכח חוסר היציבות שנובעת מכניסת אנרגיות מתחדשות. הפיילוט בנושא התחיל בישראל, חברת החשמל הסירה את התנגדותה והם משתפים פעולה, וכרגע מתבצעת בחינה של נושא ההשלה מרצון, ואני מקווה שבהמשך רשות החשמל תאשר גם להרחיב את הניסוי לשירותים נוספים.

רעיון נוסף שעלה במעלה גלבע קשור לניצול ומיצוי רשת החשמל באמצעות בקרה עצמית על ההספק של האלמנטים השונים (במקום יש טורבינות רוח והם מעוניינים להקים גם חווה סולארית), תוך הבטחה שלא תהיה העמסה מעבר למה שאושר על אותו קו. הבקרה העצמית תעשה הן באמצעות קיטום והן באמצעות אגירה שתשולב בהמשך. הרעיון ממש מתבקש לצורך יצירת גמישות בשילוב אנרגיות מתחדשות כיוון שהתזמון של אנרגיית השמש ואנרגיית הרוח הוא שונה.

פרויקט נוסף מעניין של Augwind הוא מיקרוגריד אזורי באמצעות שילוב אגירה בבניית שכונות חדשות.

שיתוף פעולה עם חברת החשמל בשיפוט ומימון פרויקטי חלוף מאפשר קידום נושאים שנמצאים באינטרס המשותף של שני הגופים. שני פרויקטים כאלו שהחלו בשנת 2020 בתחום הטעינה המנוהלת בבניינים, מאפשרים ניטור וניהול עומסים דינמי בהתאם לרמות השימוש השונות, אופטימיזציה בצריכה וצמצום הצורך בהגדלת חיבור החשמל למתחם, וניהול חשבון ההוצאות בין הדיירים (חיוב בעל עמדת הטעינה בגין צריכת חשמל מהלוח הציבורי וכן הסדרת מערכת תשלום בין בעל עמדת הטעינה למטעין המבקש להשתמש באותה עמדה).

אביעד נבון – הפקולטה להנדסת חשמל, הטכניון

אתגרים בשילוב אנרגיה מתחדשת לרשת החשמל

את האתגרים בשילוב אנרגיה מתחדשת ברשת החשמל, שנובעים למעשה מהבדלים אינהרנטיים בין מקורות אנרגיה מתחדשים (בישראל, בעיקר סולארי וקצת רוח) וקונבנציונליים, אפשר לחלק לשלוש קטגוריות:

אתגר איזון הספק ברשת – כאשר מייצרים חשמל באמצעות מקורות קונבנציונליים יש אפשרות להתאים את הייצור לצריכה, אך יכולת השליטה שלנו מוגבלת כאשר מדובר על אנרגיות מתחדשות, ובפרט סולארי ורוח, ובזמנים מסוימים נוצר עודף או מחסור באנרגיה. אחד הפתרונות לבעיה זו היא שיפור יכולת השליטה שלנו בפרופיל הצריכה באמצעות מנגנוני ניהול עומסים או חינוך, אך גם היכולת הזאת הינה מוגבלת. כיום, מקורות קונבנציונליים מגשרים על הפער בין הצריכה לייצור מאנרגיה מתחדשת, אך ככל שאחוז המתחדשות בתמהיל האנרגיה ילך ויגדל, היכולת הזאת תלך ותצטמצם. ישנה אפשרות לעבוד במצב של שתי משמרות (two-shift mode), מצב שבו מכבים ייצור קונבנציונלי עם עליית השמש ומפעילים אותו שוב עם השקיעה, אך זה מצב שמייצר אתגרים נוספים.

אתגר הולכת אנרגיה – באופן מסורתי, תחנות כוח גדולות בעלות כושר ייצור של עשרות או מאות מגה-ואטים צורכות יחסית מעט שטח וניתן למקם אותן בסמוך למרכזי הצריכה. כתוצאה מכך, מבנה הרשת המסורתי הוא כזה שיכולת ההעברת ההספק היא גבוהה בסמוך לתחנות הכוח במרכזי הצריכה, וככל שמתקרבים לקצוות הרשת יכולת ההעברת ההספק הולכת ויורדת. קצוות הרשת הן גם קצוות דמוגרפיים – אזורים שבהם הצריכה נמוכה יותר, וגם קצוות חשמליים – ככל שיורדים ברמת המתח (ממתח עליון, למתח גבוה ונמוך) ומתקרבים לצרכן יכולת ההספק יורדת. הבעיה היא שקצוות הרשת הן בדיוק המקום שבו אנחנו רוצים למקם את האנרגיות המתחדשות. אם מדברים על מתקנים גדולים, הם תופסים הרבה שטח ולכן אנחנו רוצים למקם אותם בפריפריה; מצד שני, בגלל מחסור בשטח אנחנו רוצים למקם פנלים סולאריים על גגות, כלומר ב"קצוות החשמליים" של הרשת. זה אמנם מקרב את הייצור לצריכה אך בשעות של ייצור גבוה וצריכה נמוכה זה יכול ליצור עומס על הרשת. בנוסף, שילוב של אנרגיה מתחדשת ברשתות חלוקה שוברת את ההנחה שככל שאנחנו מתקרבים לצרכן המתח קטן, וזה יוצר קשיים בניהול רמות המתחים ברשתות החלוקה.

אתגר של דינמיקה ובקרה – הייצור צריך להיות שווה לצריכה בכל רגע נתון, ואם זה לא קורה אנחנו רואים שינויים בתדר, למשל, נראה ירידה בתדר לאחר עלייה פתאומית בצריכה. יציבות התדר היא קריטית לפעולה תקינה של המערכת. כיום, יציבות התדר נשמרת באמצעות שני מנגנונים: הראשון, מנגנון של אינרציה – בכל תחנת כוח מסתובבת טורבינה שהיא גוף מאסיבי שאוגר אנרגיה קינטית ויודע לאזן הפרשים בין הצריכה לייצור – וככל שהאינרציה גבוהה יותר השינוי בתדר נבלם מהר יותר. השני, מנגנון של מערכות בקרה אוטומטיות שעוזרות להחזיר את התדר לערך תקין. רק לאחר הפעלת שני המנגנונים האלה, נכנס לפעולה מנהל המערכת. במתקני אנרגיה מתחדשת אין היום מנגנונים של אינרציה ומערכות בקרה, אך ניתן להוסיף אותם, זה רק עניין של עלות כלכלית ורגולציה שתחייב את היזמים לעשות זאת.

לשלושת האתגרים יש **מגוון פתרונות**, כאשר אגירה מהווה פתרון לשלושת האתגרים.

פתרונות לאתגר ההולכה – הפתרון המסורתי הוא פיתוח הרשת. הבעיה היא שהקצב שבו ניתן לפתח את הרשת אינו עומד בקצב שבו ניתן לפתח מתקנים של אנרגיה מתחדשת. לדוגמא, מתקן סולארי ניתן להקים תוך שנתיים-שלוש לעומת 5-7 שנים לקו מתח עליון, אם לא יותר. לכן מחפשים פתרונות מהירים וגמישים יותר, כגון אגירה או עדכון קריטריוני התכנון – קריטריונים אלו הוגדרו עבור מערכת מסורתית ובחלקם הם אף לא רלוונטיים יותר. פתרון אחר שהינו ארוך טווח הוא פיתוח רשת DC, אשר מפחית את הצורך בכבלים ובשטח ובתקווה גם מהיר יותר ליישום. פתרון נוסף הינו תעריף מבוסס מיקום – קביעת תעריף ליזמים בהתאם לאזורים פנויים ברשת ובכך לעודד יעילות.

כל האתגרים חשובים, אך בהקשר הישראלי אתגר הולכת האנרגיה הוא אולי לא הכי חשוב אבל בהכרח הכי דחוף. כבר כיום יש צווארי בקבוק ברשת, והרשת מהווה גורם מגביל לשילוב של אנרגיות מתחדשות. לאתגרים של איזון הספק ברשת ודינמיקה ובקרה אנחנו כבר רואים פתרונות כדוגמת סולארי בשילוב אגירה, אך לאתגר הולכת האנרגיה טרם נמצא פתרון הולם.

ד"ר נורית גל – מנכ"לית e-NRGY, לשעבר סמנכ"לית רשות החשמל ברק רשף – יועץ חשמל עצמאי, לשעבר אחראי על תכנון מערכת ההולכה בחח"י וסמנכ"ל פיתוח בחברת נגה

1,000 מגה-ואט ב-5 צעדים – מתווה להאצת חיבור אנרגיה מתחדשת לרשת

ד"ר נורית גל: אחד החסמים המרכזיים לעמידה ביעד האנרגיה המתחדשת הוא אתגר החיבור לרשת, בדגש על רשת ההולכה, שלוקח הרבה מאוד שנים לפתח אותה. אנחנו נציג צעדים שיכולים לאפשר חיבור של מתקנים מבלי להמתין לתוכנית פיתוח רשת ארוכת טווח.

הרקע לדברים הוא כמובן התוכנית לשילוב 30% אנרגיה מתחדשת בשנת 2030. ככל הידוע לנו, כרגע מחוברים פחות מ-3,000 מגה-ואט והיעד עד סוף העשור הוא להגיע לחיבור של כ-16,000-15,000 מגה-ואט הספק מותקן של אנרגיה סולארית, כלומר, היקפים גדולים בזמן יחסית קצר. החיבור לרשת מהווה חסם מרכזי לעמידה ביעד.

רשות החשמל פירסמה את תמונת המצב של תשובות החיבור שקיבלו יזמים של אנרגיה מתחדשת בשנים 2020-2021⁵, מהנתונים עולה כי בתחילת 2020 היו יותר תשובות חיוביות ולקראת אמצע 2021 יש יותר תשובות שליליות והן למעשה יותר מעידות על מה שיקרה בעתיד מאשר התשובות החיוביות בתחילת 2020. מהנתונים עולה כי, כ-22% מהיזמים קיבלו תשובות שליליות. חלק מהתשובות שהוגדרו חיוביות מאפשרות להזרים חשמל לרשת רק החל משעה חמש אחה"צ, כלומר, בשעות שאחרי הייצור הסולארי. תשובה זו איננה מאפשרת מימון משום שהיא מחייבת להוסיף אגירה ולהסיט את אספקת האנרגיה לערב. לכן, בפועל אחוז התשובות המאפשר חיבור הוא נמוך יותר.

בטווח הארוך, ההספק הסולארי אותו נדרש לחבר לרשת בישראל, מחייב ללא ספק פיתוח של רשת ההולכה. עם זאת, אם בעבר חיבור לרשת משמעותו היתה פיתוח הרשת, כיום מתחדדת ההבנה שאגירה צריכה להשתלב במשחק, כחלק מתוכנית הפיתוח החדשה. למעשה, אגירה מכפילה את קיבולת הרשת ובכך מצליחה למצות הרבה יותר את החיבור הקיים ומאפשרת לפתח קיבולת רשת קטנה יותר ועדיין לאפשר את חיבור ההספק הנדרש.

אנחנו מציעים מתווה להאצת חיבור אנרגיה מתחדשת באמצעות מיצוי הרשת הקיימת. ראשית, מיפינו את סוגי החסמים בחיבור לרשת וראינו שקיימות בדרך כלל בעיות משני סוגים – גודש בהולכה או גודש בהשנאה. בחלק מהמקרים הגודש הינו הן בהולכה והן בהשנאה. בישראל, רוב המתקנים מוקמים במתח גבוה, משום שמשאב הקרקע מוגבל ולכן ההספק המוקם נמוך מ-16 מגה-ואט. כדי להזרים את האנרגיה לרשת ההולכה נדרשות תחנות השנאה (תחמ"ש). כלומר, תחנות המשנה מהוות את שער הכניסה לרשת ההולכה. בחלק מהאזורים תחנות המשנה גדושות ולא מאפשרות חיבור מתקנים סולאריים, גם אם מעבר להן רשת ההולכה פנויה. במקרים אחרים, גם רשת ההולכה גדושה.

⁵ רשות החשמל, 2021. סטטוס חיבורי מתקני ייצור ותשובות מחלק.
https://www.gov.il/BlobFolder/generalpage/mehalek_status_hiburei_mitkan/he/Files_Netunei_hashmal_status_hiburim_30062021.pdf

ברק רשף: חברת החשמל מפרסמת אחת לרבעון מסמך שנותן מידע רב לגבי המקומות הפנויים ברשת⁶. במסמך יש תיאור סטטוס של כל תחמ"ש בארץ (כ-200 תחנות), האם ניתן להתחבר אליה, או האם קיימת מגבלות חיבור וממה הן נובעות, ואכן ניתן לראות מקומות, כמו יטבתה למשל, שבה קיימת גם מגבלת הולכה וגם מגבלת השנאה. לעומת מקומות כמו מעלות, שבה יש יתירות בשני הפרמטרים. המידע הזה יכול להצביע על מקומות בהם קיימת סבירות גבוהה לקבל תשובת חיבור חיובית, לגבי מקומות אחרים, בחנו מספר פתרונות שיאפשרו להתגבר על המגבלות ולחבר מתקני סולאריים נוספים.

כדי להשיג פריצת דרך צריך לאמץ פתרונות שונים, ואנחנו נציג אותם בהתאם לקלות המימוש שלהם ולכדאיות הכלכלית. ראשית, אנו ממליצים לעדכן את **קריטריון העומס על השנאי**. מדובר על קבלת החלטה, כך שזהו אמצעי זול ומיידי. העניין אמנם צריך להבחן ביסודיות על ידי הגורמים הממונים – קריטריוני העבר נכתבו על סמך ניסיון רב ושינוי שלהם מחייב זהירות והדרגתיות כדי להמנע מהשלכות שליליות על היבטים נלווים, אך העדכון צריך להיעשות. כמו כן, ניתן ליישם בחלק מן המקומות תוספת שנאים בתחמ"שים – פתרון זה הינו עדיף במקומות שניתן, על פני הפתרונות האחרים. הוא כרוך אמנם בהשקעות, אך עשוי להיות מהיר יחסית לאור ההקלות שניתנו לחברת החשמל לאחרונה בנושא האישורים. בנוסף, אפשר לבחון יישום של אגירה בצד המתח הגבוה, אם עדיין יש בעיה בחיבור מתקנים לרשת לאחר שישומו שני הפתרונות הקודמים.

עדכון קריטריון ההשנאה – הקריטריון הקיים קובע, כי ניתן לחבר מתקנים סולאריים עד 60% מההספק הנקוב של שנאי התחמ"ש. זה קריטריון זהיר ושמרני שהיה נכון בתחילת הדרך, אך עם הזמן חברת החשמל הגמישה את הקריטריון והכניסה מתקנים קטנים (בהספק עד 100 קילו-ואט) במרווח של מעל ה-60% ועד ה-100%. לאחרונה פרסמה חברת נגה הנחיה לחברת החשמל לחיבור המתקנים הסולאריים משולבי האגירה (מכרזים 1 ו-2) עד ל-100% מההספק הנקוב של שנאי התחמ"ש. העמסה של רכיבי המערכת מחייב ניהול טוב יותר, אך זהו ניצול טוב יותר של התשתיות הקיימות.

צעד מומלץ נוסף הינו לבחון **התחשבות בעקום הביקוש השעתי** – בתחמ"ש ישנם בדרך כלל ארבעה שנאים שלא מועמסים בצורה שווה, וישנם שנאים שהיקף הצריכה המחובר אליהם גדול מהיקף הייצור הסולארי המחובר אליהם. חלק מהייצור הסולארי לא מגיע בכלל לשנאי אלא זורם דרך פס הצבירה במתח גבוה ומזין את העומס, כלומר, מקוזז על ידי הצריכה. אם נתחשב בעומס על אותו שנאי נוכל לחבר עוד עשרות מגה-ואטים ולא נגיע ל-100% העמסה על השנאים, גם לא ל-60%. זה דורש ניתוח פרטני והפעלת מערכות ניטור וניהול, אבל זה יאפשר לחבר הרבה יותר מתקנים סולאריים על אותה השנאה.

הניתוח שלנו מראה **שתוספת שנאי בתחמ"ש**, היכן שניתן לעשות זאת, הוא הפתרון הכלכלי והעדיף לטווח הארוך, בהשוואה לפתרונות אחרים שנציג בהמשך. חברת החשמל גם קיבלה הקלות לתהליך הקמת שנאים בתנאים מסוימים, וניתן לעשות זאת בפרק זמן של שנה-שנתיים.

ד"ר נורית גל: אגירה בצד המתח הגבוה – כאשר אומרים שהרשת גדושה ולא ניתן לחבר מתקנים נוספים מתייחסים למעשה למצב שבו המתקנים הסולאריים הקיימים מגיעים לשיא הייצור שלהם בצהריים. כלומר, בשיא

⁶ חברת החשמל, 2021. פוטנציאל חיבור מתקני ייצור פוטו-וולטאיים לרשת החלוקה. https://www.iec.co.il/ElectricityProfessionals/DocLib26/Potential-3_2021.pdf

הייצור הסולארי יש רגע אחד שבו הקיבולת של הרשת היא מלאה, אבל בשעות שלפני הצהריים ובשעות אחר הצהריים הרשת פנויה, במידה כזו או אחרת.

אמנם פורסם מכרז ראשון לאגירה במתח עליון, אך מתקנים כאלה מחייבים הקמת תחמ"ש. זה תהליך שלא אפשרי בכל מקום וגם יקח זמן. לכן, אם רוצים להתבסס על אגירה כפתרון למצוקת הרשת, חשוב למקם אותה במקום שבו נוצרת הבעיה, כלומר, לפני שהאנרגיה מגיעה לשנאי – היינו, בצד המתח הגבוה ולא במתח עליון, בתחמ"שים, באתרי ייצור של אנרגיה סולארית או באמצעות אגירה אזורית ברשת החלוקה.

אגירה "משטחת" את הייצור הסולארי – מאפשרת להסיט עודפים של ייצור לשעה אחרת שבה הרשת פנויה, ובכך מאפשרת לנצל טוב יותר את הרשת הקיימת. האגירה הופכת את ההספק הסולארי ליותר יציב באופן המהווה תחליף לתחנות כוח. התועלות של אגירה הן בין היתר, ייצוב תדר, ייצוב מתח, החלפת תחנות כוח וחסכון בפיתוח הרשת. אגירה הוא עדיין לא פתרון זול אך הוא מאפשר בבת אחת להכפיל את השימוש ברשת הקיימת ולכן זה מאוד אטרקטיבי במקומות שבהם יש מגבלת רשת.

עם זאת, מדובר בפתרון שאינו אינסופי – לא ניתן יהיה להקים עוד ועוד אגירה לצורך חיבור מתקנים סולאריים. לבסוף הרשת מתמלאת, גם בשעות שבהן כיום היא פנויה. מצאנו שהמצב הזה קורה לאחר תוספת של כ-250% מעבר להספק המותקן הקיים, כלומר, קצת אחרי שמכפילים את ההספק הסולארי, ומעבר לזה ידרש פיתוח של הרשת.

ברק רשף: לסיכום, במצב שבו יש הולכה והשנאה פנויות אין צורך בפתרונות. במצב שיש הולכה פנויה אבל גודש בהשנאה אזי במקרה שעדכון קריטריון ההשנאה אינו נותן מענה, מומלץ להוסיף שנאים, והיכן שאי אפשר מומלץ להוסיף אגירה. במצב שבו יש גודש בהולכה וגם גודש בהשנאה, הפתרון הוא להוסיף אגירה במתח גבוה. במצב שבו יש השנאה פנויה עם גודש בהולכה, הפתרון המתאים הוא להקים מתקני אגירה במתח עליון.

ד"ר שחר דולב – מנהל תחום בכיר, פיתוח מודלים ומדיניות ארוכת טווח, משרד האנרגיה יעדי משק האנרגיה לטווח הארוך וההשלכות על הרשת

באוקטובר השנה פורסמה מפת הדרכים למשק אנרגיה דל פחמן⁷ שמסמנת את היעדים שלנו לטווח הארוך עד שנת 2050. הבסיס לתוכנית היה שימוש במודל כדי לבחון את מגבלות שילוב האנרגיה הסולארית ברשת באופן טכני ובהתייחס למגבלות הייחודיות של המשק הישראלי. בישראל, אין לנו כמעט אנרגיות מתחדשות מעבר לסולארי, וסולארי קשה מאוד לשלב ברשת, שכן האנרגיה מגיעה בשעות מסוימות ולא ניתן מענה כלל לשעות הערב והלילה. ובנוסף, אנחנו אי אנרגטי – רשת החשמל אינה מחוברת למדינות שכנות ולא ניתן לאזן את ההספקים. בעבודה בוצע גם ניתוח כלכלי לבחינת עלויות המעבר למשק דל פליטות בהשוואה למשק מבוסס דלקים פוסיליים. המסקנות היו שניתן להגיע להפחתה של 85% בפליטות גזי החממה ממשק החשמל, בעלות דומה למשק מבוסס גז טבעי. טווח השגיאה הוא גדול שכן קשה להעריך עלויות אמיתיות לשנת 2050, אך העלות היתה באותו סדר גודל.

⁷ משרד האנרגיה, 2021. מפת הדרכים למשק אנרגיה דל פחמן עד שנת 2050.
https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/energy_121021

הניתוח כלל בחינה של שני תרחישי קצה להשגת יעד הפחתת הפליטות: **תרחיש סולארי** עם שילוב של 87% אנרגיה סולארית בתמהיל הדלקים, ו**תרחיש "טכנולוגיות"** שכלל 54% אנרגיה סולארית בשילוב טכנולוגיות נוספות להפחתת פליטות, לדוגמא, המשך שימוש בגז טבעי עם תפיסת פחמן, יבוא חשמל ירוק מהרשת האירופית או רשתות שכנות אחרות.

מתווה ההספק הנדרש בתרחיש הסולארי כולל, בשנת 2050, כ-16 ג'יגה-ואט הספק פוסילי (גז טבעי), 109 ג'יגה-ואט הספק סולארי, 66 ג'יגה-ואט הספק אגירה ועוד מעט הספק מאנרגיית רוח. כאמור, בשנת 2021 אנחנו מתקרבים ל-10% ייצור מאנרגיה סולארית עם כ-3.2 ג'יגה-ואט מותקן בלבד, כך שנדרשת קפיצת מדרגה של ממש. מבחינת השטח הנדרש – 109 ג'יגה-ואט סולארי מתפרש על כ-900 אלף דונם ועולה שאלה קשה איפה נמצא לכך מקום בארץ. אם ננסה להבין את ההשלכות של ההיקף הזה על רשת ההולכה, ונניח ששליש מההספק יהיה בנגב, שלישי נוסף באזור גליל-גולן ושלישי נוסף באזור המרכז, ונניח צמצום של 50% בהספק עקב אגירה באתרי הייצור, עדיין נצטרך כ-18 ג'יגה-ואט יכולת הולכה מהפריפריה למרכז. זה מספר רב של קווי 400 וקווי 161, כך שיקח המון זמן להוציא את זה אל הפועל, אבל נשאלת השאלה האם זה בכלל אפשרי במדינה קטנה וצרה כמו שלנו, עם בעיות התכנון הקיימות?

מעבר לזה, בוועידת גלזגו, ראש הממשלה נפתלי בנט, העלה את המחויבות הישראלית לאיפוס מלא של פליטות גזי החממה במשק. במשרד האנרגיה בחנו את המשמעות של האיפוס עבור משק החשמל במספר תרחישים אפשריים. הערוץ הברור והטבעי הוא הגדלה נוספת של הייצור הסולארי, אפילו עד 60% ייצור עודף של אנרגיה סולארית עם אגירה עונתית (אולי באמצעות מאגר מימן תת קרקעי), שתאפשר לאגור את האנרגיה מהאביב לחורף שבו יש מחסור יחסי, אך מתווה כזה כמובן ילווה בצורך בהובלה נוספת של האנרגיה לאזורי הביקוש והאגירה כך שהעומסים על הרשת יגדלו אף יותר.

אמנם לפנינו עוד 30 שנה, אבל אנחנו כבר עכשיו מחפשים דרכים להתמודד עם אתגר הרשת. רעיונות אפשריים כוללים:

הרבה **אגירה** – האגירה תשמש אותנו ראשית להסטת אנרגיה מהצהריים לערב וללילה, אך תוכל לשמש גם לאגירת האנרגיה באזור הייצור באופן שיפחית את הדרישה להולכה.

"Brute Force" – סלילת קווי מתח עליון ועל-עליון נוספים לצורך הולכת 18 ג'יגה-ואט נוספים, תוך שקילת האפשרות להעלות את המתח בקווי המתח העל-עליון עד 800 קילו-וולט כדי להוליך על אותה רצועה פי שניים אנרגיה; אך כמובן שכל קווי המתח האלה מהווים מפגע נופי וסביבתי, וההתנגדות הציבורית לבנייתם עולה עם הזמן, כך שנוצר אתגר תכנוני – נזדקק למסדרונות הולכה מהפריפריה למרכז שכלל לא בטוח שניתן יהיה למצוא.

הולכה בזרם ישר (HVDC – High Voltage Direct Current) – כאשר מוליכים בזרם ישר דרושים שני מוליכים ולא שלושה, אפשר להטמינם בקלות, וזאת בניגוד לקווי מתח על-עליון שאותם אי אפשר להוליך למרחקים גדולים מוטמנים בקרקע עקב הפסדי אנרגיה גדולים. עקב מספר הקווים המועט יחסית ובגלל הקרינה המגנטית הנמוכה יותר, דרישת המסדרון התכנוני צרה יחסית. מאידך, שימוש בזרם ישר דורש תחנות המרה בשני הקצוות, תחנות גדולות ויקרות, עם דרישת שטח ונראות משמעותית. יש בעולם פרויקטים המוליכים זרם ישר בהיקף גדול, למשל בסין, אך הולכת הספקים גבוהים בקו יחיד מהווה אתגר רציני לשרידות הרשת הארצית במקרה של תקלה.

הולכה במימן – יותר פשוט וזול להוליך מולקולות מאשר אלקטרונים. פשוט יחסית להקים צינור ולהוליך בו מימן, הצינור מוטמן, הוא זול מהולכת חשמל ומאפשר גם אגירה במימן. מאידך, שימוש במימן דורש אלקטרולייזרים בצד אחד ותאי דלק בצד השני – זאת טכנולוגיה שעדיין מתפתחת. אמנם היא מתפתחת במהירות אבל היא עדיין לא כלכלית כיום, יש בעיה של הפסדי אנרגיה – בהמרה למימן ובחזרה לחשמל אנחנו מפסידים עשרות אחוזים מהאנרגיה, אם כי ישנה ציפייה שהטכנולוגיה תשתפר בשנים הקרובות. בנוסף, תהליך הייצור של המימן דורש מים, ואם המתקן מוקם בנגב גם זו יכולה להיות בעיה.

דגש על אנרגיה מקומית – במקום לייצר את האנרגיה בפריפריה ולהוביל אותה למרכז, לייצר את האנרגיה היכן שהיא נדרשת. לבסס ייצור מקומי בדו-שימוש (גגות, חניות, קירוי מגרשי ספורט, כבישים, מאגרי מים, בתי עלמין ועוד) כדי להמנע מפגיעה בשטחים הפתוחים. לדאוג לניהול מקומי של האנרגיה – רשת חכמה, בקרת עומסים, ניהול צד הביקוש – כדי שהמעגלים יסגרו ברמה המקומית ולא נדרש להולכה של אנרגיה למרחקים ארוכים. העניין דורש קידום נושא מתחמי האנרגיה (יש החלטת ממשלה בנושא הזה). העברת סמכויות לשלטון המקומי גם יכולה לתרום לקידום הנושא שכן הם מכירים את האתגרים ואת הצרכים והם יכולים לעבוד עם האוכלוסייה בשטח.

לסיכום, בכדי לקדם את ערוצי הפעולה הללו נדרשים פיילוטים בשטח כדי לבדוק את הטכנולוגיות השונות ולנסות לקדם אותן, וכן השקעה במו"פ שהמדען הראשי במשרד האנרגיה מוביל. בנוסף, נדרשת רגולציה מאפשרת – רגולציה שהיא פחות קונקרטיית לטכנולוגיות מוכרות, וכתובה באופן שיתיר חדירה של טכנולוגיות חדשות ויאפשר בחינה אמיתית שלהן בשטח, ללא צורך בשינויים רגולטוריים תכופים.

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

- איך לנצל בצורה מיטבית את המשאבים הקיימים ברשת החשמל? (כללים שלפיהם מותר להעמיס את הרשת).
- הטמנת כבלי חשמל לעומת קווים עיליים.
- מערכת AC לעומת DC.
- האם קיימות טכנולוגיות שיאפשרו הולכת חשמל בכמויות הגדולות שידרשו?
- שינוי קריטריוני התכנון כך שיתאימו לעידן של ייצור מבוזר ואנרגיות מתחדשות.
- כתיבת Grid Code ישראלי.
- תעריף תלוי מיקום בכדי לעודד התקנת מתקני ייצור במקומות פנויים ברשת.
- תעריף שעתי בכדי לעודד צריכה, ובעיקר הטענת רכבים חשמליים, בזמן שעות הייצור הסולארי.
- אגירה כתחליף לרשת.

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

הרצל פרידמן: חברת החשמל רתומה בצורה מלאה להשגת היעד של 30% אנרגיות מתחדשות בשנת 2030, שהוא יעד אתגרי מאוד. היעד הזה מתווסף לאתגרים אחרים – תחבורה חשמלית שעדיין איננה על סדר היום ושהתוכניות הקיימות לשדרוג ופיתוח הרשת לשנים הקרובות לא מכסות אותו. חברת החשמל מבצעת שני פיילוטים עם המדען הראשי, לניהול הטעינה בתחום הרשות ובתחום הפרטי, ומעבר למונה בבניינים משותפים. המצב בשטח מצריך מתן מענה מהיר, ואנו מקבלים הרבה הזמנות ובקשות כאשר עדיין אין הנחיות ממשרדי הממשלה. יש צורך בקידום מהיר של הנחיות לתעריף וצורת החיבור לניהול נכון של הטעינה, בכדי למנוע בניית תשתית חשמל מיותרת. אנחנו עובדים בשיתוף פעולה הדוק עם רשות החשמל ומשרד האנרגיה לצורך מתן מענה. במקביל עולה הנושא של בקשות חיבורים לחינוכי התחבורה החשמלית הציבורית, שממנו עולות הזמנות של עשרות מגה-ואטים לצורך חינוכי אוטובוסים.

עמידה ביעד של 30% אנרגיות מתחדשות לשנת 2030 מהווה פעימה בדרך להשגת היעד של 2050. כיום מחוברים 3,500 מגה-ואט של מתקני אנרגיה מתחדשת, כאשר היעד הוא כ-16,000 מגה-ואט בשנת 2030. חברת החשמל מציגה מספר מוצרים לקידום השקיפות ושיפור הנוחות של היצרנים – העלינו לאתר האינטרנט של חברת החשמל מפה אינטראקטיבית שבה ניתן לראות איפה יש מקומות פנויים בהם ניתן לחבר אנרגיה מתחדשת⁸. בסביבות מרץ-אפריל 2022 המפה תתעדכן באופן שוטף. רשות החשמל בשיתוף חברת החשמל מתכוונים לפרסם 'מסלול ירוק' של חיבורים קטנים על גגות בתים של עד 10 קילו-ואט ובעתיד יבחן להגדיל עד 15 קילו-ואט, נושא שיקל על הלקוחות הביתיים, ובנוסף יאפשר להסיט עובדים בחברת החשמל לקידום פרויקטים נוספים. המסלול יאפשר לפתוח הזמנה באופן עצמאי באינטרנט, לבצע את ההתקנה, ולקראת החיבור באחריות המתקין לספק את כל הדרישות שנקבעו על ידי רשות החשמל. כמו כן, נוסף שירות עבור היצרנים הגדולים לקבלת שירות ממוקד יצרן. הקמנו את מערכת "המעגל" – מערכת שירות מידע באינטרנט, לכל

⁸ חברת החשמל. מפת הסבירות לחיבור מתקני ייצור חדשים. <https://www.iec.co.il/pv/pages/reasonability.aspx>

העוסקים בחשמל, כולל כל ההנחיות, התוכניות ושיטות ההתחברות – אין צורך בפנייה יזומה לקבלת המידע. אנחנו מקימים מערכת ממוחשבת עבור היצרנים שתאפשר לבצע את כל ההתקשרות וההזמנות דרך האינטרנט.

מבחינת האנרגיות ברשת – בסוף השנה שרת האנרגיה אמורה לאשר את תוכנית הפיתוח לשנת 2030. זוהי תוכנית לטווח בינוני והלאה, לא לטווח הקצר. מדובר על אתגר משמעותי של בניית קווי הולכה, תוספת השנאה וקווי חלוקה, כ-70 תחמ"שים ומספר תחנות מיתוג – זה אתגר ענק לא רק לחברת החשמל אלא גם לכל ועדות התכנון שצריכות לתת לזה קדימות ועדיפות, לקצר זמנים ולהרתם להסרת חסמים.

נושא האגירה נותן מענה לתקופת הביניים – נותן מענה להסטת ייצור לשעות בהן הרשת פחות עמוסה, כלי לשמירה על יציבות התדר והמתח ללקוחות. צריך לזכור שאנחנו עדיין צריכים לשמור על שרידות המערכת, בעיקר כל עוד אנחנו אי אנרגטי שאינו מחובר לרשתות חשמל אחרות. אנרגיה סולארית היא אנרגיה לא יציבה, ואנחנו הולכים להיות המדינה הראשונה בעולם עם יישום נרחב של אנרגיה סולארית. האגירה מביחה את ייצוב התדר, שמירה על מתחים, שמירה על איכות החשמל, ויסות מתח, תחליף לרזרבה סובבת, וכמובן מענה להרחבת הקליטה של אנרגיות מתחדשות.

מגבלת העמסה של 60% בתחמ"שים – אנחנו, בדומה למה שנעשה בעולם, לומדים את הנושא. כבר כיום ישנן תלונות מלקוחות ויצרנים, בקווים עם ייצור של אנרגיה סולארית. מגבלת ה-60% כבר מזמן לא קיימת – זאת אכן היתה המגבלה במתח גבוה, אך במתח נמוך, לכל החיבורים, אנחנו הגבלנו את השנאי ל-100%. כמובן, שכאשר תכנס אגירה במקומות הנכונים, אם תאושר תוכנית הפיתוח לאגירה – כ-3,500 מגה-ואט אגירה (מתוכם, כ-800 מגה-ואט היא אגירה שאובה בגלובע, סירין ומנרה בעתיד, והשאר בסוללות) – ניתן יהיה לשחרר סקרים חיוביים לייצור במקומות אלו. מעבר לזה, חברת החשמל בשיתוף רשות החשמל, בוחנים פתרון של גישה פתוחה (open access) כמו באירופה. כיום הלקוחות מקבלים את מלוא זמן הייצור ולכן המגבלה הכללית של המערכת נקבעת לפי שעות השיא שהן מאוד מצומצמות. עם זאת, בקווים בהם יש גם אופי צרכי ניתן באמצעות הכנסת מערכת ניהול וסחר, שאנחנו עוסקים בהכנתה, להכניס אנרגיות נוספות בשעות שאינן שעות השיא.

חברת החשמל הכינה מתווה לאנרגיה סולארית ואגירה, שאושר ברשות החשמל, מתווה של יום ולילה, שמשמעותו היא שאנרגיה סולארית בשילוב אגירה במתקן הייצור, גם בכפוף למגבלה הקיימת להעמסת השנאים בתחנות משנה, ניתן יהיה לחבר לרשת, באמצעות הסטת העומסים לשעות הלילה. נושא נוסף הוא התעריף העמוק שנבדק על ידי רשות החשמל – יש מקומות שבהם יש אפשרות לחיבור אבל השטחים שם יקרים, למשל, במרכז המדינה קיימת יכולת של הרשת לקלוט כ-5,000 מגה-ואט. מגבלת השטחים היא קריטית במדינת ישראל ולכן צריך לקדם דו-שימוש, כמו גם כיסוי וקירוי של צמחים, מחלפים, בתי קברות ועוד, ולהערכתי קביעת תעריף מתאים תתמרץ לעשות זאת.

לגבי העתיד – מבחינתנו, עד שנת 2050 השאיפה היא לאפס פליטות. עם זאת, אחוזים ניכרים של אנרגיה סולארית עם אגירה במדינה שהיא אי אנרגטי, מאוד קשים לניהול. לכן, אני בטוח שיכנסו בעתיד טכנולוגיות חדשות, כולל שימוש במימן ירוק שמהווה את האנרגיה העתידית הנראית לעין. יש לקיים חשיבה להכנסת אנרגיה גרעינית, זאת אחת האנרגיות היציבות וצריך לבדוק איך ניתן להתמודד עם החששות לגבי טכנולוגיה זו.

חברת החשמל עובדת בשיתוף עם כל הגורמים הרלוונטיים לחיבור כמה שיותר אנרגיות מתחדשות על הרשת הקיימת, תוך שמירה על שרידות הרשת. אנחנו שוקלים הכנסה של טכנולוגיות, כמו חיישנים לאורך קווי המתח

שיעזרו לנתח עומסים באזורים שונים של קווי המתח הגבוה ולא בתחמ"שים בלבד (שיכולים להיות ללא זרימה בשל איפוס בין צריכה וייצור מקומי). בנוסף, חברת החשמל בעד הטמנת קווים, זה קיים בעולם גם בקווי 400 ק"ו, ואנחנו בתהליך משותף עם משרד האנרגיה לצורך קבלת החלטה בנושא. צריך לזכור שההטמנה היא לא רק יקרה יותר אלא גם שזמן התיקון ארוך יותר, לכן בעלויות צריך לקחת בחשבון גם קווי גיבוי למקרה של תקלה שיקח כמה שבועות לתקן. ברגע שתשתחרר המגבלה התקציבית יהיו יותר קווים תת-קרקעיים וזה יסייע גם בהתמודדות עם תופעת ה-NIMBY שבה כולם רוצים חשמל אך לא מעוניינים שתשתיות יעברו בסמוך לביתם.

ד"ר רותי קירו: לאור משבר האקלים יעדי הפחתת פליטות גזי החממה העולמיים יעשו יותר שאפתניים עם הזמן, ומדינת ישראל לצד כל מדינות העולם, תדרש להעמיק גם את היעדים שלה. כך שלמרות היעדים הקיימים להפחתת הפליטות והעשייה הקיימת, ישראל תדרש להעמיק את יעדי הפחתת פליטות גזי החממה מעבר לקיים היום.

המשרד להגנת הסביבה פרסם לפני כשנה עבודה לגבי פוטנציאל הייצור הסולארי במרחב המבונה⁹, והראה כי יש פוטנציאל של מעל 40% ייצור סולארי שיושם בשטח המבונה עד שנת 2030. עמדת המשרד היא כי יש לנו אחריות לכלל התחום של משבר האקלים ולכן עלינו למזער את הפגיעה בשטחים הפתוחים תוך דחיפה ושילוב מיטבי של אנרגיות מתחדשות ואגירה בשטח המבונה. אמנם שילוב מתחדשות בשטח המבונה הוא יותר מורכב, שכן יש ריבוי שחקנים, אך ישנן גם תועלות רבות, פרט לשמירה על השטחים הפתוחים, הן בהיבטים שקשורים ישירות לחשמל, שכן הייצור קרוב לצריכה ונחסכות עלויות רשת ואיבודי חשמל, והן מבחינת ביזור האנרגיה המסייע לשמירה על הביטחון האנרגטי ולאמינות אספקת החשמל. לצורך שילוב האנרגיות המתחדשות והאגירה במרחב המבונה, נדרש שרשת החלוקה תהיה מותאמת לקבלת היקפי אנרגיה המיוצרים מקומית. בהמשך לנאמר לעיל, על חברת החשמל להכין תוכנית שתתן מענה לקליטה ולניהול של האנרגיה ברשת החלוקה.

עבודה נוספת שהכנו במשרד וטרם פורסמה, כוללת בחינה טכנית כלכלית המראה כי ניתן לשלב אנרגיות מתחדשות במרחב הבנוי, וזאת על בסיס שימוש בטכנולוגיות יעילות וזמינות ובאמצעות יצירת מדיניות המתעדפת פיתוח מכוון-מתחדשות ואגירה ברשת החלוקה. העבודה פורסת שורת המלצות לצעדים רגולטוריים, פירוט השקעות באופטימיזציה והטמעת מערכות בקרה ושליטה ברשת החלוקה והכוונת סדרי עדיפויות בפיתוח רשת החלוקה הנותנים מענה לצווארי בקבוק קיימים וחסמים לקליטה של אנרגיות מתחדשות. כמו שצויין לעיל, גם עבודה זו מראה כי נדרש לספק כלים למנהל המערכת כדי להצליח לנהל את הנושא הזה.

בנוסף, חשוב שנתייחס לטכנולוגיות חדשות, כמו מימן ירוק (המבוסס על ייצור מימן ממקורות מתחדשים) אשר יאפשרו גם אגירה עונתית, ייצור חשמל נקי ועוד. ככל שהתחום יתפתח והמדינה תשקיע יותר משאבים בנושא נוכל לראות שילוב יותר מאסיבי של אנרגיות מתחדשות במשק.

ד"ר דן וינטוק: הרכב החשמלי מהווה פוטנציאל אגירה שיש להתייחס אליו. זה אמנם לא יקרה בזמן הקצר, אבל זה יקרה יותר מהר ממה שאנחנו חושבים. שוק הרכב החשמלי נמצא עדיין בחיתוליו – מי שעוסק כיום בתחום מתמודד בעיקר עם סוגיות של חיבור לרשת ומתייחס לרכב החשמלי בעיקר כצרכן אנרגיה. בנוסף, האלקטרוניקה ברכב עדיין לא תומכת באופן נרחב בהזרמת האנרגיה בחזרה לרשת. עם זאת, ניתן להעריך את

⁹ המשרד להגנת הסביבה (2020). הערכת פוטנציאל הייצור הסולארי במרחב הבנוי בישראל. https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/potential_for_solar_production_on_existing_structures_jan_2020

הפוטנציאל המשמעותי של התחום, שכן, ברכבים פרטיים (בניגוד למוניות, למשל) השימוש היומי הוא של שעות בודדות בלבד וכל שאר הזמן הרכב עומד, ובדרך כלל גם מחובר בצורה כלשהי לרשת. הסוללות ברכבים הם סוללות לא קטנות שרק הולכות וגדלות עם הזמן ואפילו היום ניתן למצוא סוללות של יותר מ-100 קוט"ש. כאשר היקף הרכבים במשק הינו אלפים בלבד הפוטנציאל אינו משמעותי, אבל כאשר יהיו עשרות ומאות אלפי כלי רכב זה הופך לפוטנציאל אגירה מעניין. כמובן שזה יחייב להתמודד עם מספר סוגיות ובהן שאלות משפטיות, דגדגציה מואצת של הסוללות ועוד, אך בהחלט צריך לבחון את זה.

המרחב המבונה – בדרך כלל חושבים רק על הגגות אבל צריך לבחון גם את הנושא של קירות (BIPV – Building-integrated photovoltaics). עיריות שונות, לדוגמה עיריית תל אביב, יתחילו לדרוש את זה ולעמוד על כך שזה יבוצע. בנוסף, היקפי האנרגיה שניתן להפיק מהקירות הם אמנם נמוכים ביחס לגגות בישראל, אך הם בהחלט רלוונטיים ביחס לערכים שניתן להפיק מאנרגיה סולארית על גגות בצפון אירופה (לדוגמה, גרמניה). לכן צריך לדחוף חזק את הנושא הזה – הפוטנציאל הוא עצום.

ד"ר רותי קירו: העבודה שעשינו לגבי המרחב הבנוי לא מתייחסת לגגות בלבד אלא לכל המרחב הבנוי, גם לקירות, מחלפים ועוד.

ד"ר נורית גל: אנחנו נמצאים בשלב מאתגר שבו אנחנו נדרשים לחבר הספק רב בעתיד עם עומס גדול על הרשת, ולדעתי בשלב הזה צריך לגבש תוכנית מערכתית להגשמת הפוטנציאל המשקי. התוכנית תבחן בצורה שיטתית את כל בקשות החיבור ותאפיין בכל אזור ואזור את הפתרונות האפשריים – תוספת אגירה, תוספת שנאים, שינוי קריטריון העומס – באופן שיאפשר להבין לאן אנחנו שואפים ולאן נגיע בעוד שנתיים. אני מתייחסת לשנתיים, כי להערכתי מעבר לכך, נגיד בעוד חמש שנים, נתחיל לראות כבר רכיבי רשת חדשים, נתחיל לראות את הניצנים של תוכנית הפיתוח החדשה באים לידי ביטוי. הבעיה שלנו היא בשנים הקרובות – הרשת מאוד גדושה והפתרונות המערכתיים יגיעו רק בעוד כמה שנים. הפתרונות שהצגנו מתאימים ליישום באופן מיידי או בזמן הקרוב של כשנה. עם זאת, כאשר באים לבחון פתרון כמו אגירה לא צריך לבדוק רק אם היא יותר כדאית לעומת הרשת, אלא גם איך היא מאפשרת לתת מענה. אגירה היא גם ניידת, ניתן להציב אותה כרגע באזור עם גודש ולהעביר אחר כך למקום אחר.

ד"ר שחר דולב: אשמח לשמוע על המצב של פרויקטי האגירה שחברת החשמל בוחנת – מה המטרות והיעדים ואיך זה מתקדם, מה לוחות הזמנים ומה הצפי? כמו כן, אשמח לשמוע על הניסוי שבוצע בתמנע לסיוע בניהול הרשת – אם ניתן להרחיב על הממצאים שמתייחסים לתמיכה של אנרגיות סולאריות בניהול הרשת. בנוסף, כאשר אנחנו מנסים לנצל קווי הולכה בניצול יותר גבוה על ידי שימוש באגירה, נשמעות טענות שאנחנו מגדילים את העומס על השנאים ובכך מקצרים את חייהם וגם מורידים את האמינות שלהם. האם יש מנגנון שבוחן עד כמה ניתן להעמיס את הקווים והשנאים בצורה אופטימלית?

הרצל פרידמן: חברת החשמל מקדמת עשרה פרויקטי אגירה של 10 מגה-ואט ל-4 שעות בתשעה אתרים, כולם בדרום – הפרויקטים האלה נמצאים בהליך מכרז ויקודמו רק לאחר אישור ותקצוב על ידי רשות החשמל. אנחנו אמורים לחבר בשנתיים הקרובות את עשרת המתקנים, בתלות באישור של רשות החשמל. ברפורמה במשק החשמל נקבע שחברת החשמל, בכפוף לאישור, תוכל להצטרף לפרויקטים של אגירה ברשת. אנחנו הולכים לשים את המתקנים במקומות שלדעתי הם הכי טובים מבחינת המערכת – אתרים בתחמ"שים שלנו שהם כבר שטח מופר שיועד לציוד חשמלי. אנחנו בחנו את הפוטנציאל של אתרים כאלה ומדובר על פוטנציאל אדיר ולכן

אנחנו מקווים שהעניין יאושר. ברגע שיאושרו עשרת הפרויקטים ניתן כבר כיום לתת סקר חיובי ליצרנים שמבקשים להקים מתקנים באזורים האלה. גם בצפון קיימת מגבלה ולכן איתרנו מספר אתרים שנבחנו. שוחררה מכסה של כ-200 מגה-ואט, בעזרת הסטת הצריכה במתקן האגירה בגלבע, מה שמאפשר להזרים יותר אנרגיה לרשת.

בחברת החשמל בוצע פיילוט אגירה, תחת תחום החדשנות – מנסים לקדם רעיונות חדשים, טכנולוגיות חדשות ויזמים ישראלים, כולל שיתוף פעולה עם האקדמיה. הפיילוט נמצא בקיסריה, חובר לרשת ועליו אנחנו עושים בדיקת מערכות בקרה ובחינת ההשפעות על הרשת.

לגבי שנאים – קריטריון העמסה של 60% בא מהכיוון של שרידות רשת החלוקה, ואנחנו לומדים מהעולם ובוחנים את המדד לאפשרות הקלה. יש פתרונות חלקיים למקומות מסוימים להעלאת העומס, וכאשר תהיה אגירה באותו תחום"ש גם היא תתן מענה. חשוב להדגיש שה-60% זאת הגבלה למתח הגבוה אבל באותו שנאי את המתח הנמוך אנחנו לא הגבלנו, אלא אפשרנו העמסה עד 100%, כאשר ה-40% הנותרים כבר מועמסים עם חיבורים של מתקנים קטנים. אם היינו הולכים מהתחלה על ה-100% ותופסים את השנאים עם המתקנים הגדולים, לא היינו יכולים לחבר את המתקנים הקטנים, וזה היה חבל כי זאת אנרגיה מתחדשת שמפוזרת בצורה טובה על הגגות.

ברק רשף: ד"ר נורית גל, ד"ר דן וינשטוק ואנוכי, עשינו עבודה ביחס לטעינת רכב חשמלי ומצאנו שניהול מושכל של מרבית טעינת התחבורה החשמלית מאפשר לייתר כמעט לחלוטין את פיתוח התשתיות הנדרש. זה דומה למצב של אגירה אבל יש גם שוני ותחכום נוסף שצריך לקחת בחשבון.

מערכות DC – צריך לבדוק מידי פעם את הנושא של שילוב מערכות כאלה בישראל. בדרך כלל מדובר על קווים יותר ארוכים ממה שיש בישראל, אבל לא מן הנמנע שיתעורר הצורך וזה יהיה הפתרון המתאים. בכל מקרה מדובר על סדר גודל של 15 שנים לביצוע מרגע ההתנעה – בחינה טכנו-כלכלית, אפיון הנדסי, תהליך סטטוטורי מלא, כולל תסקירי השפעה על הסביבה, קבלת אישורים, תכנון מפורט והקמה. צריך לזכור שבקצה הקו יש תחנות המרה שהן עקב אכילס של הטכנולוגיה הזאת באזורים צפופים.

לגבי השנאים – בתכנון המערכת עושים תיאום בין יכולת ההשנאה וקיבולת הקווים. שנאים מתוכננים לעבוד בעומס מלא לפחות ל-30 שנה, ויש שנאים שעובדים במערכת גם 40 שנה ויותר. קיצור אורך החיים של השנאי נובע מאירועים של קצר או תקלות שבהן הוא נכנס לעומס יתר, וגם עם זה השנאי יודע להתמודד, כך שהטענה לגבי העומס על השנאים היא אינה נכונה. מה שכן חשוב זה שהעניינים לא יצאו משליטה – שיהיו מנגנונים שיאפשרו לא לחרוג באותם פרמטרים, לנהל נכון את רמות המתחים ואת זרימת האנרגיה במערכת.

פרופ' גרשון גרוסמן: אחד מהנושאים לדיון עסק בנושא של כתיבת Grid Code ישראלי. מה הכוונה ומה המטרה?

ברק רשף: במשך שנים רבות עסקנו בחברת החשמל בחיבור של יצרנים פרטיים, ובישראל, בניגוד למדינות אחרות בעולם, לא היו כללי רשת. נושא זה חשוב כדי שכל השחקנים שמחוברים למערכת ידעו בצורה שקופה מהם הכללים – מבחינה תפעולית ומבחינה הנדסית-טכנית. צוותים שונים עסקו בזה מספר שנים, אך לא הגענו למצב שאנחנו מפיצים כללי רשת שמאשרים על ידי משרד האנרגיה ורשות החשמל. עם זאת, העניין התקדם, וחברת החשמל הפיצה ליצרנים פרטיים ביחד עם סקרי ההיתכנות והחיבור, את כללי הרשת שעוסקים בדרישות

טכניות לטורבינות רוח, מתקנים פוטו-וולטאיים ואגירה שאובה. האחריות על הנושא הוטלה על חברת נגה מתוקף הרישיון שניתן לה, היא המשיכה את העבודה ולמיטב ידיעתי הנושא לקראת סיכום. זה אכן דבר שכדאי שיהיה מפורסם וזה כנראה יקרה בקרוב.

הרצל פרידמן: חברת החשמל מכינה Grid Code בתחום החלוקה. חלק מהכללים וההנחיות כבר קיימים כיום ומוצגים במערכות האינטרנט שלנו, ואנחנו הולכים לרכז את הכללים השונים לאוגדן כדי שכל אחד ידע איך עובדים, איזה רמות צריך לשמור ועוד. זה דבר מאוד חשוב, שלא קיים כיום.

ברק רשף: אני ממליץ לייצר בהקדם רגולציה שמחייבת ניהול טעינה של רכבים חשמליים על מנת להמנע מהשקעות עודפות בעתיד.

הרצל פרידמן: אני מסכים עם ברק רשף. נושא הטעינה אינו מוסדר, ובמידה וזה לא יעשה אנחנו פשוט נשקיע בצורה בזבזנית בחיזוק הרשת. בזמנו, כאשר בטר פלייס נכנסו לשוק דיברו על שתי חלופות – אחת עם ניהול טעינה והשנייה ללא ניהול, ומשמעות ההבדל בין החלופות היתה של הקמת שש תחנות כוח נוספות במקרה של טעינה לא מנוהלת. כמובן בשילוב עם הרחבת רשת ההולכה והחלוקה מדובר על השקעות עתק. חייבים לקדם את זה, זה מאוד חשוב.

אנרגיות מתחדשות – מומלץ לייצר תמריצים למקומות שבהם רוצים את האנרגיה הסולארית. בנוסף, לעודד את הנושא של סחר, בדומה לאירופה – כבר עכשיו ניתן להכפיל את החיבור של יצרנים על רשת קיימת עם ניהול נכון.

ברק רשף: מומלץ לקדם מכרזים של אגירה במתח גבוה, כולל מכרזים של stand alone, מכרזים במתקנים קיימים של אנרגיה סולארית, ומתקנים בדו-שימוש. אין סיבה לא להוסיף אגירה ולחסוך בעלויות של פיתוח הרשת.

ד"ר גדעון פרידמן: הרצל, מהו מנגנון הסחר שהצעת?

הרצל פרידמן: צריך לקבוע מחיר – מי נכנס באיזו שעה לפי תמחיר. יש המון שיטות לניהול היצרנים, אחת מהן היא סחר – יש מכרז לפי שעות ומי שנתן את המחיר הזול ביותר נכנס באותה שעה וכל היתר לא נכנס, או שעושים קיטום או הסטה על ידי אגירה, אבל היצרנים בונים פרויקטים נוספים באותה הרשת.

ד"ר גדעון פרידמן: זה יותר מורכב, יש הסכמים קיימים.

הרצל פרידמן: אני מדבר על המצב שיהיה מעכשיו והלאה, ולעשות תמחיר שונה לפי שעות. צריך להכנס לזה כיוון שנתנו לכולם 100% זמן ויש הזרמה בכל השעות שיש שמש, וכך איבדנו את הגמישות.

כמובן נדרשת גם אגירה מנוהלת. חברת החשמל בונה מערכת ניהול, אחרי שלא מצאנו מוצר מדף שמתאים. היום כבר הכנסנו מערכת "קיטום" – יצרן באזור עמוס אנחנו קוטמים ל-60% עומס וזאת עד לפיתוח הרשת במקום. כאשר המערכת תבנה ותהיה חזקה הוא יקבל את מלוא היכולת שהוא קיבל בסקר. במקביל, חברת החשמל מקדמת פרויקט מערכת תפעול וניהול רשת החלוקה (ADMS – Advanced Distribution Management)

System). המערכת תאפשר ניהול של המתקנים במתח הגבוה והנמוך. יש לציין שכלי לניהול הרשת (מהיבט אנרגיות מתחדשות) הינו הכרחי בעידן הנוכחי.

ד"ר שחר דולב: יהיו לכם יכולות לניהול של הנושא?

הרצל פרידמן: אני מקווה שתוך שנה תהיה לנו מערכת ניהול עובדת.

לאור משבר האקלים, יעדי הפחתת פליטות גזי החממה העולמיים יעשו יותר שאפתניים עם הזמן, ומדינת ישראל לצד כל מדינות העולם, תדרש להעמיק את יעדיה. כחלק ממאמץ זה החליטה ממשלת ישראל ביולי 2021 על הפחתת פליטות גזי חממה שמקורן בייצור חשמל עד לשנת 2050 בהיקף של 85% לכל הפחות ביחס לפליטות שנמדדו בשנת 2015¹⁰. החלטה זו התקבלה על בסיס מפת הדרכים למשק אנרגיה דל פחמן¹¹, שבחנה שילוב של אנרגיה סולארית במערך הייצור, ומצאה כי ניתן להשיג את יעדי הפחתת הפליטות באמצעות ייצור סולארי בהיקף של 87%, ללא עלויות עודפות למשק החשמל¹².

עם זאת, יישום נרחב של אנרגיה סולארית מחייב הוספת פתרונות תומכים, כגון, אגירה שעתית ואף עונתית, ופיתוח משמעותי של רשת ההולכה. כבר היום, אתגר הרשת מהווה צוואר בקבוק לשילוב אנרגיות מתחדשות, ולאור יעדים שאפתניים של שילוב אנרגיה סולארית, הבעיה צפויה להחמיר עם השנים. מעבר למתן מענה לאתגרים הטכניים של רשת ההולכה, הגשמת יעדי הממשלה מחייבת, במיוחד במדינה קטנה וצפופה כמו ישראל, גם התייחסות לסוגיות עקרוניות הקשורות למשאב הקרקע שנמצא במחסור.

המלצות הפורום:

- 1. פתרונות לטווח הקרוב** – בטווח הבינוני והארוך ניתן יהיה לראות ניצנים של תוכנית פיתוח הרשת החדשה, אך בטווח הקרוב מומלץ לגבש תוכנית מערכתית להגשמת הפוטנציאל המשקי – תוכנית שתבחן בצורה שיטתית את החסמים ותאפיין את הפתרונות המומלצים, כולל קידום שינויים רגולטוריים ויישום אמצעים טכנולוגיים, שיאפשרו את מיצוי הרשת הקיימת. יש לשקול פתרונות שנותנים מענה מיידי גם במחיר של כדאיות כלכלית.
- 2. מפת דרכים ליישום** – מומלץ לגבש עקרונות לשילוב אנרגיות מתחדשות במשק החשמל בשיתוף כל הגורמים הרלוונטיים, אשר יתבססו לצד היבטים הטכנו-כלכליים גם על היבטים תכנוניים, חברתיים וסביבתיים, תוך התייחסות לסוגיות של ייצור מרוכז למול ייצור מבוזר, פריסה גאוגרפית, פיתוח קרקעי בשטחים הפתוחים למול פיתוח על שימושי קרקע קיימים, ועוד.
- 3. שילוב אנרגיות מתחדשות** – יש לבחון מודלים שונים לתמיכה בשילוב אנרגיות ומתחדשות, ובתוך כך – יצירת תוכנית פיתוח לרשת החלוקה אשר מכוונת לקליטת אנרגיות מתחדשות בשטחים מבוזרים ובדו-שימוש (בגגות, קירות וגדרות ובשימושי קרקע מגוונים), ותוך ניהול צד הצריכה; יצירת תמריצים (תעריפיים ואחרים) לייצור האנרגיה הסולארית קרוב לאיזורי הביקוש; ובחינת מודלים של סחר המקובלים בעולם המאפשרים חיבור יצרנים נוספים על רשת קיימת.
- 4. אגירה** – מומלץ לקדם מכרזים של אגירה במתח גבוה, כולל מכרזים של stand alone, מכרזים במתקנים קיימים של אנרגיה סולארית, ומתקנים בדו-שימוש. למתקני אגירה יש שימושים רבים כגון איזון הספק, איזון תדר, והפחתת העומס על הרשת, ועל כן מומלץ להוסיף אגירה ולחסוך בעלויות של פיתוח הרשת.

¹⁰ החלטת ממשלה 171, מיום 25.07.2021. מעבר לכלכלה דלת פחמן. https://www.gov.il/he/departments/policies/dec171_2021

¹¹ משרד האנרגיה (2021). מפת הדרכים למשק אנרגיה דל פחמן עד שנת 2050. https://www.gov.il/he/departments/publications/reports/energy_121021

¹² ההצהרה של ראש הממשלה נפתלי בנט בוועידת גלגו על העלאת המחויבות הישראלית עד לאיפוס מלא של הפליטות במשק, טרם עוגנה בחקיקה.

5. **רגולציה ותקינה** – יש לקדם תקינה ורגולציה הרלוונטיות לתחום שיבטיחו ניצול אופטימלי של הרשת והמנעות מהשקעות עודפות בעתיד, ובתוך כך – לקבוע אמות מידה אחידות לסקרי חיבור סולארי, ובפרט ליחס הספק סולארי-שנאי; ולקדם רגולציה שמחייבת ניהול טעינה של רכבים חשמליים. עם זאת, נדרשת רגולציה שתאפשר חדירה של טכנולוגיות חדשות ללא צורך בשינויים רגולטוריים תכופים.
6. **קידום חדשנות** – יש לתמוך בבחינה תאורטית ומעשית (יישום פיילוטים) של טכנולוגיות שונות – טכנולוגיות לייצור חשמל נקי (מימן ירוק, אנרגיה גרעינית), טכנולוגיות אגירה, טכנולוגיות הולכה (הולכה במימן, הולכה בזרם ישר), טכנולוגיות ניהול, ועוד.

13:00 פתיחה – פרופ' גרשון גרוסמן

13:10 ד"ר יעל הרמן, ראש תחום טכנולוגיות ואנרגיות מתחדשות, המדען הראשי, משרד האנרגיה

אימוץ חדשנות במשק החשמל – צעדים ראשונים

13:20 אביעד נבון, הפקולטה להנדסת חשמל, הטכניון

אתגרים בשילוב אנרגיה מתחדשת לרשת החשמל

13:30 ד"ר נורית גל, מנכ"לית e-NGY, לשעבר סמנכ"לית רשות החשמל

ברק רשף, יועץ חשמל עצמאי, לשעבר אחראי על תכנון מערכת ההולכה בחח"י וסמנכ"ל פיתוח בנגה

1,000 מגה-ואט ב-5 צעדים – מתווה להאצת חיבור אנרגיה מתחדשת לרשת

13:50 ד"ר שחר דולב, מנהל תחום בכיר פיתוח מודלים ומדיניות ארוכת טווח, משרד האנרגיה

יעדי משק האנרגיה לטווח הארוך וההשלכות על הרשת

14:15 דיון פתוח, תוך התמקדות בשאלות:

- איך לנצל בצורה מיטבית את המשאבים הקיימים ברשת החשמל? (כללים שלפיהם מותר להעמיס את הרשת).
- הטמנת כבלי חשמל לעומת קווים עיליים.
- מערכת AC לעומת DC.
- האם קיימות טכנולוגיות שיאפשרו הולכת חשמל בכמויות הגדולות שידרשו?
- שינוי קריטריוני התכנון כך שיתאימו לעידן של ייצור מבוזר ואנרגיות מתחדשות.
- כתיבת Grid Code ישראלי.
- תעריף תלוי מיקום בכדי לעודד התקנת מתקני ייצור במקומות פנויים ברשת.
- תעריף שעותי בכדי לעודד צריכה, ובעיקר הטענת רכבים חשמליים, בזמן שעות הייצור הסולארי.
- אגירה כתחליף לרשת.

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

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

אנרגיה וסביבה



מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית

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