

ביטחון מערכת החשמל בישראל אנרגיה מתחדשת, ביזור וביטחון אקלימי

עורכות:

גלית כהן, חוקרת בכירה אורחת במכון למחקרי ביטחון לאומי (INSS), מנהלת קרן האקלים
בישראל (Jewish Climate Trust)

אל"ם (מיל) ד"ר נורית גל, מנכ"לית E-NGY

גל שני, עוזרת מחקר במכון למחקרי ביטחון לאומי (INSS)

תוכן העניינים

3	 תקציר
5	 פיתוח רשת ההולכה לשם חיבור מתקני אנרגיה מתחדשת מרוחקים
6	 הקמת רשתות מקומיות בעלות יכולת פעולה עצמאית בחירום
8	 חלק א
8	 פרק 1: משבר האקלים כאתגר לביטחון הלאומי ולמערכת החשמל בישראל
13	 פרק 2: איומים על תשתיות הגז ותשתיות ההולכה של מדינת ישראל במרחב הימי
16	 חלק ב
16	 פרק 1: פיתוח רשת ההולכה לשם חיבור מתקני אנרגיה מתחדשת מרוחקים לרשת החשמל בישראל
16	
28	 פרק 2: רשתות מקומיות מנוהלות (מיקרוגרید) כמענה לביטחון אנרגטי
28	 רקע
29	 רשתות מקומיות מנוהלות בעולם
30	 האתגר הטכנולוגי ברשות מקומיות מנוהלות
32	 היתכנות רשתות מקומיות מנוהלות לאור הרפורמה במשק החשמל
33	 רשתות מקומיות מנוהלות במבנים/קמפוסים
34	 רשתות מקומיות מנוהלות בקיבוצים
35	 רשתות מקומיות מנוהלות בערים ובמושבים
36	 המלצות

תקציר

בעשור האחרון עלה באופן ניכר משקלו של הגז הטבעי בייצור החשמל בישראל, ובמקביל פחת השימוש בפחם ובסולר. לצד היתרונות הכלכליים והסביבתיים, השימוש בגז מעלה סוגיות חדשות של ביטחון חשמל ועמידות מערכתית, משום שהוא מסופק באמצעות שני צינורות בלבד מהמאגרים בים אל החוף, ללא יכולת אחסון בשטח ישראל. יתר על כן, ייצור באמצעות גז מרוכז באתרי ייצור מועטים, והולכת החשמל לצרכנים תלויה באמינות מערכת ההולכה הארצית. תלות זו במקורות בודדים ובתוואי הולכה מוגבל יוצרת סיכון גובר לאמינות האספקה, בייחוד במצבי חירום ביטחוניים או אקלימיים.

מעבר לתלות האנרגטית בגז, ישראל מתמודדת עם שילוב של איומים אקלימיים מתגברים ואיומים ביטחוניים. מצד אחד, שינויי האקלים גורמים לגלי קור וחום ממושכים, לעומסי צריכה חריגים ולשריפות המאיימות על תשתיות חשמל חיוניות. שיא הביקוש לחשמל צפוי לעלות ב-30-40 אחוזים עד שנת 2035 כתוצאה מגידול האוכלוסייה, צמיחה כלכלית, חשמול התחבורה והתעשייה ואירועי מזג אוויר קיצוני. מצד שני, ישראל היא מדינת אי מבחינה אנרגטית, שאינה מחוברת לרשתות חשמל אזוריות, ועל כן היא חשופה במיוחד לפגיעה בתשתיות האסטרטגיות, הן בים והן ביבשה. פגיעה משמעותית בצינור גז או במתקן הולכה מרכזי עלולה להביא להשבתה רחבה של ייצור החשמל ולפגיעה בתפקוד המשק כולו.

האנרגיה המתחדשת, נוסף על יתרונותיה הסביבתיים, היא כיום נדבך חיוני לחיזוק ביטחון המערכת, שכן היא מבוססת על ייצור מבוזר מקומי שאינו תלוי בצינור גז או בקו הולכה יחיד. החלטת הממשלה מיום 25 באוקטובר 2020 קבעה כי עד שנת 2030 יהיו 30 אחוזים מייצור החשמל מאנרגיה מתחדשת. מימוש היעד צפוי להתבסס בעיקר על אנרגיית שמש, אך לפי IEA, סוכנות האנרגיה הבינלאומית, ההצלחה תלויה בהשקעות כבדות משקל בתשתיות רשת, תחום שבו קצב ההתקדמות בישראל עודנו נמוך מהדרוש.

לשם עמידה ביעד נדרש להקים בישראל מתקני אנרגיה מתחדשת בהספק מצטבר של 17 אלף מגה-ואט, שמתוכם חוברו לרשת עד היום 7,000 מגה-ואט בלבד. בימים אלו בוחן שר האנרגיה יעד המשך לשנת 2035 בטווח שבין 35 ל-45 אחוזים מייצור האנרגיה בשנה זו. הגדלת היעד תחייב הקמת כושר ייצור סולארי נוסף בהיקף שטרם נקבע, וכן הרחבה של תשתיות הולכה וחלוקה חכמות.

הפוטנציאל להגדלתו של היקף ייצור האנרגיה המתחדשת נחלק לשני סוגים עיקריים:

- א. **מתקנים סמוכים לצרכנים** – בכלל זה מתקני גגות, קירוי שטחים אורבניים פתוחים כגון חניונים, בתי עלמין ומגרשי ספורט ומתקנים על גבי חזיתות מבנים (BIPV). מתקנים אלו נותנים מענה מיטבי לסיכון משום שאינם תלויים ברשת ההולכה הארצית. עם זאת, פוטנציאל ההקמה של המתקנים המבוצרים מוגבל ואינו נותן מענה מלא לביקוש.
 - ב. **מתקנים מרוחקים מאזורי הצריכה** – בכלל זה מתקנים קרקעיים, מתקנים אגרו-וולטאיים בשטחים חקלאיים, מתקנים על גבי מאגרי מים ומתקני גגות באזורי הפריפריה. אף שמתקנים אלו מרוחקים מהצרכנים הם חיוניים לעמידה ביעד. זאת ועוד, מתקנים המחוברים לרשת ההולכה נמצאים בשליטת מנהל המערכת ומאפשרים לנתב את האנרגיה לאזורי הצריכה לפי הצורך ולכן למתקנים אלו תפקיד חיוני ייחודי במצבי חירום ומשבר, בייחוד אם משולבת בהם אגירה. שילוב מתקנים אלו מחייב פיתוח של רשת ההולכה על מנת להוליך את האנרגיה אל אזורי הצריכה במרכז הארץ.
- עבודה זו סוקרת את האיום על תשתית הגז ואת המענה האפשרי של האנרגיה המתחדשת לחיזוק הביטחון האנרגטי:

- חלק א סוקר את האיום על הביטחון האנרגטי הנובע ממשבר האקלים ומהאיומים הביטחוניים.
- חלק ב סוקר שני סוגים של פתרונות לחיזוק הביטחון האנרגטי של ישראל, על ידי שילוב אנרגיות מתחדשות וחיזוק ביזור. ידוע כי פיתוח רשתות מקומיות וייצור בסמוך לצרכנים לא יוכל לספק את כל הדרישה לחשמל ולכן נדרש גם ייצור מרוחק, ומכאן חשיבות רבה לפיתוח רשת ההולכה.

בתהליך העבודה התקיימו שני מפגשים במכון למחקרי ביטחון לאומי (INSS). יום העיון הראשון התקיים ב-28 באפריל 2025, ובמסגרתו נבחנו החסמים לפיתוח הרשת וכיוונים אפשריים לפתרון. יום העיון השני התקיים ב-10 ביולי 2025 והתמקד בהיתכנות של רשתות מקומיות עצמאיות ובהמלצות לקידום רשתות אלו בישראל. במפגשים השתתפו גורמים ממשלתיים, נציגי חברות פרטיות, נציגי חברת החשמל ומנהל המערכת. להלן פירוט עיקרי התובנות מתהליך החשיבה.

שני כיווני הפעולה תואמים גם את המלצת ארגון האנרגיה העולמי מדוח IEA לשנת 2025¹, שלפיה שילוב בין פיתוח רשת הולכה מודרנית לבין ביזור הרשת הוא מפתח לחוסן אנרגטי. פיתוח רשת הולכה נרחבת מאפשר ניהול יעיל של ייצור מרוחק, בעוד שמיקרוגרידים מבטיחים רציפות תפקודית גם בעת ניתוק מהרשת הארצית. הפיתוח והביזור משלימים זה את זה ונדרשים לשם שמירה על ביטחון מערכת החשמל בישראל.

¹ [World Energy Outlook 2025](#).

פיתוח רשת ההולכה לשם חיבור מתקני אנרגיה מתחדשת מרוחקים

בשנת 2023 אישר שר האנרגיה תוכנית לפיתוח מערכת המסירה בהיקף של כ-22 מיליארד ש"ח,² מתוכם יועדו כ-12 מיליארד לחיבור מתקני אנרגיה מתחדשת. ואולם דוח בקרה שפרסמה רשות החשמל ביום 8 בינואר 2025³ מלמד כי יישום התוכנית לפיתוח רשת ההולכה מתעכב.

ההמלצות העיקריות לקידום פיתוח רשת ההולכה:

1. **עדכון תוכנית פיתוח הרשת בשני היבטים מרכזיים:**
 - **שילוב אזורים פוטנציאליים לייצור אגרו-וולטאי בתוכנית הפיתוח** – כדי לאפשר חיבור בעתיד.
 - **שילוב מתקנים עתירי ביקוש (כגון Data Centers) באזורי הייצור הסולארי** על מנת לצמצם את הצורך בפיתוח הרשת.
2. **גיבוש תוכנית האצה לפיתוח הרשת באמצעות ועדת משנה ייעודית בוועדה לתשתיות לאומיות (ות"ל).** סמכויות הוועדה יוגדרו בחוק ההסדרים ויוקצו לה תקנים מתאימים שיאפשרו את פעולתה. הוועדה תקדם תוכניות בראייה אזורית של מספר קווים יחד ותהיה מוסמכת גם להעניק היתרי בנייה.
3. **הרחבה של מדיניות הטמנת קווים ברשת ההולכה** שתיתן מענה להתנגדויות שכיום מעכבות הקמת קווי רשת.
4. **גיבוש תוכנית להגברת מיצוי הרשת הקיימת:**
 - **יישום טכנולוגיות מתקדמות** שיאפשרו להגביר ולנהל ביעילות את העומס על קווי הרשת – מוליכים מתקדמים, סנסורים, מערכות שליטה וניהול.
 - **עדכון קריטריון העומס על הקווים ויישום מדיניות של עומס דינמי**, כך שהעומס יותאם למצב הקווים בפועל.
 - **הגברת גמישות הרשת** – באמצעות שילוב אגירה וכלי ניהול מתקדמים, בהתאם להמלצת ה-IEA.
 - **הגברת שקיפות המידע** – פרסום מידע עדכני לציבור ופרסום התור לחיבור לרשת.
5. **שילוב השוק הפרטי בתכנון ובהקמה של רכיבי רשת** – ההקמה תהיה כפופה לקריטריונים שתקבע נגה (ניהול מערכת החשמל) בתיאום עם חברת החשמל לישראל (חח"י).

² מערכת המסירה כוללת את רשת ההולכה ואת מערך תחנות המיתוג ותחנות המשנה.

³ רשות החשמל, דוחות בקרה לרבעון 4-2024 מיום 8 בינואר 2025.

6. **הקמה מחדש של הוועדה להסרת חסמים** ופרסום של תוצרי הוועדה לציבור, על מנת לתת מענה לקשיים העולים בתהליך התכנון.

הקמת רשתות מקומיות בעלות יכולת פעולה עצמאית בחירום

מיקרוגרید (רשת מקומית מנוהלת) הוא קבוצה של צרכנים ומקורות ייצור מבחרים המחוברים זה לזה בתוך רשת חשמל מוגדרת, הפועלת כישות אחת הניתנת לשליטה מול רשת החשמל. מיקרוגרید מסוגל להתחבר ולהתנתק מהרשת, כך שהוא יכול לפעול הן במצב מחובר לרשת והן במצב מבודד (DOE)⁴.

בשנים האחרונות גובר העיסוק של משקי חשמל בישראל ובעולם באפשרות של הקמת מיקרוגרידים, בעקבות ארבע מהפכות המתרחשות בשוק החשמל: מעבר לייצור נקי באנרגיה מתחדשת (Decarbonization); ייצור מבחר קרוב לצרכנים (Decentralization); מערכות ניהול ושליטה חכמות (Digitization); ולאחרונה גם מהפכת האגירה (Storage).

מהפכות אלו וכן האיום הביטחוני על רשת החשמל והסיכון של אירועי אקלים קיצוני שישבשו את אספקת החשמל מעודדים הקמה של רשתות מקומיות מנוהלות, שיאפשרו ניהול חכם של הביקוש, הייצור והאגירה, ובתרחישי קיצון יוכלו לפעול גם במנותק מהרשת הארצית. ביטחון החשמל במאה ה-21 נמדד לא רק בגודל המערכת הארצית אלא גם ביכולתה לתפקד באופן מבחר, להסתגל למצבי קיצון ולהתאושש מהם במהירות.

בעולם ניתן למצוא רשתות מקומיות מנוהלות בקמפוסים טכנולוגיים כגון קמפוס סימנס בווינה ואוניברסיטאות, באיים מרוחקים ובמערכות מבודדות אחרות כגון מכרות, אוניות ואסדות. לפי נתוני ה-IEA, עד שנת 2035 צפויה כמעט הכפלה של מספר המיקרוגרידים בעולם, בעיקר סביב מתקני תעשייה חיוניים, קמפוסים אזרחיים ובתי חולים, כחלק מהיערכות לאירועי אקלים קיצוניים.

בישראל נעשים צעדים ראשוניים להקמת רשתות מקומיות מנוהלות במספר קיבוצים, משום שביישובים אלו הרשת היא בבעלות חברת חלוקה מקומית ("מחלקים היסטוריים"), שיעור משמעותי מהצריכה מיוצר כבר כיום בשטח הקיבוץ, וקיבוצים רבים נמצאים בתהליך של שילוב אגירה ברשת המקומית. ביישובים שבהם הרשת בבעלות חברת החשמל, כגון ערים מושבים וכפרים, ניתן ליישם יכולת ניהול רשת מקומית, אולם נדרשת אסדרה כדי לאפשר זאת. לאור זאת, ביישובים אלו מקודמת יכולת ניהול עצמאית במבנים פרטניים (למשל במרכזי חוסן) ולא ברשת הציבורית.

תפעול עצמאי של רשת מקומית מהווה אתגר טכנולוגי, משום שנדרש לנהל את המעבר ממצב רשת למצב מבודד ללא הפרעה לצרכנים ותוך ייצוב וניהול של העומס, המתח והתדר באמצעים מקומיים, טיפול יעיל

⁴ US DOE, [Microgrid Overview](#), 2024.

בזרמי קצר וכן יישום יכולות הגנה ואמצעי בטיחות. כל זאת גם במצב מבודד, שבו לא ניתן להיעזר ברשת הארצית.

נוסף על הקושי הטכנולוגי קיים גם אתגר כלכלי: למערכות ייצור ואגירה קיימת אסדרה שיוצרת כדאיות כלכלית של ההשקעה.⁵ עם זאת אין כיום תמריץ כלכלי להקמה ולהפעלה של מערכות חכמות לניהול רשת מקומית.

לפיתוח רשתות מקומיות מנוהלות ייתכנו יתרונות מגוונים ברמה המשקית, בפרט חיסכון בפיתוח רשת ההולכה וכושר הייצור באמצעות מיצוי טוב יותר של הייצור המקומי, מענה לצרכנים מבודדים ומרוחקים שעלות החיבור שלהם לרשת הארצית יקרה וממושכת, האצת הקמה של מתקני אנרגיה מתחדשת, הוזלת עלות ההספקה לצרכנים וצמצום דקות של אי-הספקה. עם זאת, עידוד הקמת רשתות מקומיות מנוהלות מחייב השקעת משאבים במימון כלל הצרכנים במשק, ולכן יש לכמת את התועלות המשקיות לפני קביעת תמריצים ואסדרה למיקרוגרידים.

המלצות לקידום רשתות מקומיות בישראל:

1. פיתוח טכנולוגי של מערכות לניהול עצמאי של הרשת.
2. סבסוד של מערכות לניהול רשת באתרים מרוחקים ומאוימים.
3. פיתוח פיילוטים לאומיים לרשתות חכמות ומיקרוגרידים בשיתוף עם מנהל המערכת.
4. עידוד השימוש בממירים עצמאיים המאפשרים הפעלה בניתוק מהרשת.
5. אסדרת אמות מידה לניתוק רשתות מקומיות מנוהלות ולממשק בין רשת עצמאית לבין רשת חברת החשמל.

⁵ אסדרה תעריפית למתקני מתח נמוך ומודל שוק למתקני מתח גבוה.

חלק א

פרק 1: משבר האקלים כאתגר לביטחון הלאומי ולמערכת החשמל בישראל

גלית כהן וגל שני

במשך שנים נדון משבר האקלים בעיקר בהקשר הסביבתי, כאתגר המעמיד בסכנה מערכות אקולוגיות, מגוון ביולוגי ומשאבי טבע. ואולם כיום ברור יותר ויותר כי מדובר באתגר רב-מערכתי לאומי רחב היקף, המאיים לא רק על הסביבה אלא גם על ביטחונה, כלכלתה וחוסנה של מדינת ישראל. שינויי האקלים משפיעים באופן הולך ומעמיק על כל תחומי החיים, ממערכות המים והחקלאות ועד תשתיות התחבורה, הבריאות והאנרגיה, שמאפשרות את תפקודם של כל היתר.

בתוך כך משק החשמל, המשמש למעשה כעמוד השדרה של כלל מערכות המשק והחברה, מצוי בשנים האחרונות תחת לחץ גובר והולך. בישראל, מדינה קטנה אפופת סיכונים ומנותקת אנרגטית מסביבתה האזורית, ההשלכות של שינויי האקלים עלולות להיות חמורות במיוחד. הקיץ האחרון, שהתאפיין בגלי חום ממושכים, טמפרטורות שיא ועומסי חשמל חסרי תקדים, המחיש באופן חד את שברירותה של המערכת הקיימת ואת מגבלותיה בהתמודדות עם תרחישי קיצון. לכך נוספה מלחמת חרבות ברזל, שהמחישה ביתר שאת עד כמה עלולה פגיעה באספקת החשמל, אם כתוצאה ממתקפת סייבר, מפגיעה בתשתיות פיזיות או ממחסור בייצור, להמיט נזקים חמורים על המשק, על הצרכנים ועל תפקוד המדינה כולה.

לפי סוכנות האנרגיה העולמית, תפיסת ביטחון מערכת החשמל במאה ה־21 משתנה באופן מהותי: ביטחון החשמל אינו נמדד עוד רק ביכולת לייצר חשמל אלא גם ביכולת תגובה, התאמה והתאוששות מאירועי קיצון אקלימיים, ביטחוניים וטכנולוגיים. ביטחון המערכת נשענת כיום על שלושה רכיבים מרכזיים: גיוון מקורות הייצור, גמישות תפעולית ועמידות פיזית ודיגיטלית של רשת ההולכה והחלוקה.

מגמות האקלים בישראל מוסיפות נדבך נוסף של מורכבות לאתגר זה. על פי השירות המטאורולוגי הישראלי, שנת 2024 הייתה השנה השנייה החמה ביותר שתועדה בישראל מאז 1950, עם קיץ חם במיוחד שקבע שיאי טמפרטורה חדשים למדינה. הטמפרטורות הממוצעות בחודשים החמים היו גבוהות בכשתי מעלות צלזיוס מהממוצע ההיסטורי, ועקפו את השיאים הקודמים שנמדדו בשנים 2012 ו-2023 ביותר מחצי מעלת צלזיוס. לא זו בלבד, בחודשי החורף של שנת 2024 הייתה כמות המשקעים יוצאת דופן, עם גשמים עזים וסופות ברד הרסניות באזורים מסוימים, ואילו אזורים מדבריים חוו את אחת השנים היבשות ביותר שתועדו.

לפי דוח IEA 2025,⁶ ב-85 אחוזים ממחקרי השבתת החשמל בעולם בשנים האחרונות הסיבה הייתה אירועי אקלים קיצוניים, בין היתר סופות, שיטפונות, שריפות או גלי חום, שפגעו בעיקר בקווי הולכה ובתחנות משנה. לתנודות אקלימיות חריגות, לגלי חום ממושכים, למשקעים קיצוניים, לשיטפונות ולשריפות עלולות להיות השלכות ישירות ומהותיות על מערכת החשמל בישראל, בין היתר על ידי פגיעה ביעילות תחנות הכוח, נזקים לתשתיות ההולכה והצורך הגובר בביקוש לאנרגיה, במקביל לצורכי קירור בקיץ וחימום בחורף.

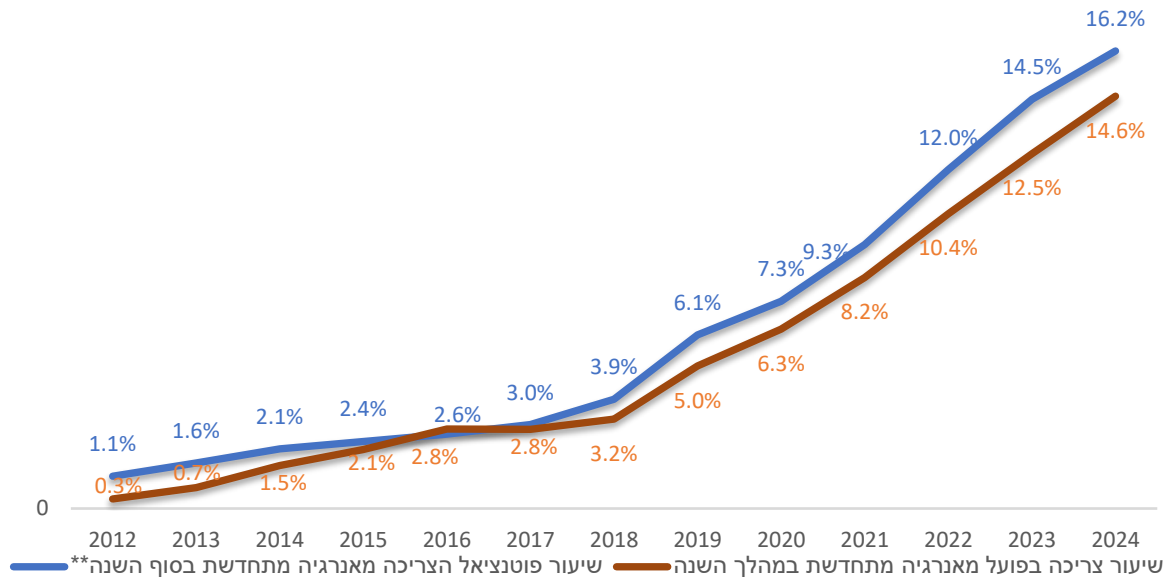
התופעות הללו מצטרפות לרקע של תלות הולכת וגוברת של המשק הישראלי באספקת חשמל יציבה ורציפה, הנובעת ממגמות מתמשכות של חשמול מערכי התחבורה, הקמת מתקני התפלה עתירי אנרגיה, התרחבות מרכזי נתונים (Data Centers) והגידול המתמיד בשירותי תקשורת ודיגיטציה. ה-IEA מעריך כי עד שנת 2035 צפויה עלייה של כ-40 אחוזים בצריכת השיא של חשמל בעולם, בעיקר עקב חשמול תחבורה ותעשייה, מגמה הניכרת גם בישראל, שבה הגידול הדמוגרפי והכלכלה הצומחת מאיצים עוד יותר את קצב העלייה.

כל אלה מציבים אתגר של ממש לתשתיות החשמל הקיימות ומעמידים במבחן את יכולתה של המערכת לעמוד בהיקף הביקוש ההולך וגובר. בד בבד, מערכת האנרגיה העולמית נמצאת בעיצומו של שינוי מבני וכלכלי עמוק הנובע מן המעבר הגלובלי למקורות אנרגיה מתחדשת – תהליך המתרחש גם בישראל ומביא לגידול ניכר בשילוב של מתקנים סולאריים ובפרויקטים של אגירת אנרגיה, המחייבים פיתוח של רשת ההולכה והחלוקה.

⁶ [World Energy Outlook 2025](#).

תרשים 1 – שיעור הצריכה מאנרגיות מתחדשות לפי שנים

שיעור הצריכה מאנרגיות מתחדשות לפני שנים



מקור: דוח מצב משק החשמל, ספטמבר 2025, רשות החשמל

שינויי האקלים מגבירים את הלחץ על משק החשמל. עומסי חום ממושכים מעלים את הביקוש לחשמל, בעוד שהיעילות של תחנות הכוח והרשת יורדת בטמפרטורות גבוהות, וכך נוצרת רגישות גבוהה יותר לתקלות ולחוסרים. המשק, שכבר כיום תלוי ברציפות אספקה כמעט מוחלטת של החשמל לכל מערכות החיים, נעשה פגיע גם לאירועי אקלים קיצוניים. ה-IEA מציין כי עלייה של מעלת צלזיוס אחת בטמפרטורה הממוצעת בקיץ עלולה להפחית בכשלושה אחוזים את יעילות הייצור בתחנות כוח קונוונציונליות, ולגרום לעלייה של עשרות אחוזים בעומסי השיא.

כך למשל, באוגוסט 2025 דווח בעיתון ישראל היום כי בבסיס סיירים של חטיבת גבעתי בדרום הוחלט לשחרר מאות חיילים לבתיהם, לאחר שגל חום קיצוני גרם לקריסת מערכות החשמל והמיזוג, והטמפרטורה בתוך המבנים הגיעה לכ-60 מעלות.⁷ באותו שבוע נרשמו בדרום הפסקות חשמל נוספות בשל עומסי חום חריגים שגרמו לתקלות ברשת המקומית, ובמקביל נמדד שיא ארצי בצריכת החשמל – 15,806 מגה-ואט.⁸ זאת ועוד, גל החום בחודש מאי 2025 הצית שריפות ענק בגליל ובאזור בית שמש, שהובילו לניתוק קווי מתח גבוה ולפגיעה באספקת החשמל לאלפי תושבים.⁹

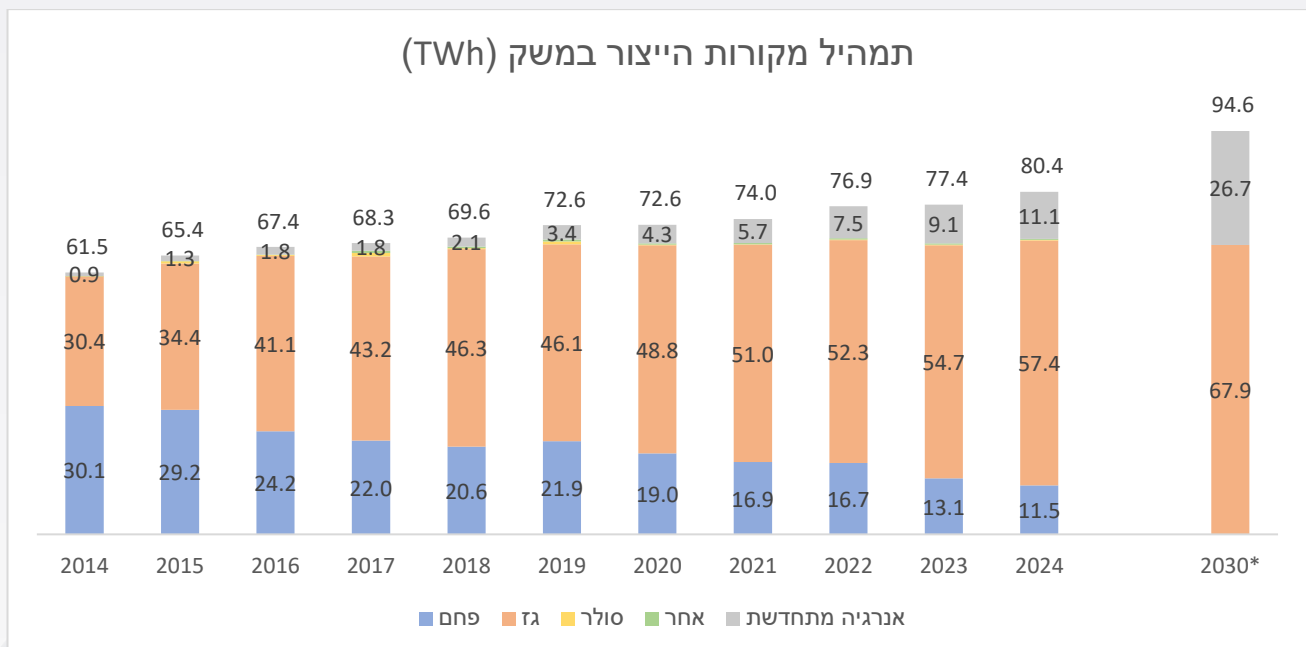
⁷ ישראל היום, 14 באוגוסט 2025.

⁸ Ynet, 10 באוגוסט 2025.

⁹ Haaretz, May 17, 2025.

מעבר לכך ישראל מתמודדת עם איום ביטחוני ישיר על נכסי האנרגיה המרכזיים שלה. שדות הגז, האסדות והצנרת התת-ימית הם תשתיות אסטרטגיות מרוכזות ובעלות נראות גבוהה, ולכן מהווים יעד לפגיעה בעת עימות. מלחמת חרבות ברזל המחישה את מידת חשיפתן של תשתיות האנרגיה, בים וביבשה, לאיומים ישירים ובהם מתקפות טילים, רחפנים וסייבר. פגיעות זו מועצמת בשל ריכוזיותו של משק האנרגיה והישענותו על מספר מוגבל של מתקני גז טבעי, המספקים כ-72% מייצור החשמל. תלות זו מגבירה את הסיכון לשיבושים נרחבים באספקת האנרגיה בעיתות חירום ולחילה.

תרשים 2 – תמהיל מקורות הייצור במשק בישראל



מקור: דוח מצב משק החשמל, ספטמבר 2025, רשות החשמל

בהקשר זה מדגיש ה-IEA כי מדינות שלהן תלות גבוהה במתקני ייצור מרוכזים נדרשות לפתח רשתות גיבוי מבחרות – מערכי ייצור מקומיים ואזוריים שיבטיחו המשכיות אספקה גם בעת פגיעה במתקן מרכזי.

על רקע מכלול האתגרים האקלימיים, הטכנולוגיים והביטחוניים (שיפורטו בפרק הבא) העומדים בפני ישראל מתחדדת ביתר שאת שאלת חוסנה של מערכת החשמל. ריכוזיותה יוצרת תלות במספר מועט של תחנות כוח ותשתיות חלוקה והולכה, והופכת את המערכת לפגיעה במיוחד לאירועים בלתי צפויים, הן טבעיים והן אנושיים. ריכוזיות מערכת החשמל בישראל נובעת ממספר גורמים היסטוריים ומבניים, ובראשם שיקולי ביטחון ואמינות אספקה, שהובילו את המדינה להעדיף במשך עשרות שנים מערכת מרוכזת

הנשלטת ומנוהלת באופן אחיד, מתוך תפיסה כי שליטה מרכזית תאפשר תגובה מהירה ואפקטיבית בשעת חירום. בידודה האנרגטי של ישראל, שאינה מחוברת לרשת חשמל אזורית או בינלאומית, חזק מגמה זו, שכן הוא מחייב ניהול הדוק ותיאום מלא בין כלל מרכיבי המערכת כדי לשמור על יציבותה ולמנוע קריסה. גם כיום, חרף כניסתם של יצרנים פרטיים ותחנות כוח מבוססות גז ואנרגיה סולארית, מבנה המשק נותר ריכוזי מטבעו, שכן תחומי ההולכה והחלוקה נותרו בידי גורם אחד ואינם פתוחים לתחרות.

ריכוז הייצור והשליטה במספר מצומצם של מתקנים ותשתיות מגביר את הסיכון לכך שתקלות טכניות, מתקפות סייבר או פגיעה פיזית במתקן מרכזי ישפיעו על כלל המשק. מערכת ריכוזית נוטה גם להיות פחות גמישה וחדשנית, מתקשה לשלב ייצור מבחר ממקורות מתחדשים ולהגיב לשינויים בביקוש בזמן אמת. לכן, אף שהריכוזיות סיפקה לאורך השנים יתרונות של שליטה, תיאום וביטחון תפעולי, בעידן של שינויי אקלים, איומים ביטחוניים גוברים ומעבר לאנרגיה מתחדשת היא עלולה להפוך מחזקה מבנית לחולשה אסטרטגית, כזו המחייבת חשיבה מחודשת על מבנה רשת החשמל בישראל.

אל מול מציאות זו מתחדדת ההבנה כי יש צורך בשינוי תפיסתי ובפיתוח רשת חשמל חכמה ומבחרת יותר, שתוכל לספק מענה הן בשגרה והן בחירום. אחד היתרונות המרכזיים של רשת מבחרת, המבוססת על מתקני ייצור מקומיים כדוגמת מערכות סולאריות המותקנות על גגות מבנים בשילוב טכנולוגיות אגירה, הוא בכך שהייצור, האגירה והצריכה מתרחשים באותו מקום, ובכך מצטמצמת התלות במרכזי ייצור גדולים וברשת ההולכה הארצית. עם זאת, תת-פיתוח של רשתות ההולכה והחלוקה מגביל כיום את היכולת לשלב ייצור מבחר ממקורות מתחדשים, בעיקר באזורים המרוחקים ממרכז הארץ שבהם הפוטנציאל הסולארי גבוה. לכן מתווספים חסמים רגולטוריים, כלכליים וביטחוניים המעכבים את הרחבת הרשת ואת קליטת החשמל הירוק.

דוח IEA 2025 מגדיר את הפער בהשקעות ברשתות החשמל כ"צוואר הבקבוק המרכזי של המעבר העולמי לאנרגיה נקייה", ומדגיש כי השקעות ברשתות ובאגירה נדרשות להכפיל את עצמן עד סוף העשור כדי לשמור על אמינות ועמידות המערכת.

כדי להבטיח את שרידותו ועמידותו של משק החשמל בעידן של אי-ודאות גוברת, על ישראל להאיץ את פיתוח התשתיות תוך דגש על קידום מתקני ייצור מבחרים ואגירת אנרגיה בקנה מידה רחב. שילוב של מתקני ייצור מבחרים, מערכות אגירה וניהול עומסים בזמן אמת הוא תנאי בסיסי ליכולתה של ישראל להתמודד עם אתגרי העתיד – משבר האקלים, גידול האוכלוסייה, איומים ביטחוניים ומעבר לכלכלה ירוקה – ולבנות משק חשמל חסון, יציב ובר-קיימא המשולב בחוסן הלאומי.

פרק 2: איומים על תשתיות הגז ותשתיות ההולכה של מדינת ישראל במרחב הימי

יובל אילון

כאשר עוסקים במשק האנרגיה של מדינת ישראל חייבים לבחון את האיומים ואת הסיכונים הביטחוניים שמאיימים על האתרים האסטרטגיים של מדינת ישראל במשק האנרגיה במרחב הימי – אסדות הגז תמר, לויתן וכריש – ועל תשתיות ההולכה התת-מימיות של הגז אל מדינת ישראל.

הגז הטבעי הפך בעשור האחרון למרכיב חיוני ברציפות האנרגטית והכלכלית של ישראל – הן לאספקת חשמל פנימית והן ליצוא אזורי. פגיעה באסדה או בתשתיות ההולכה התת-מימיות המשנעות את הגז ממעמקי הים אל אסדות ההפקה ומאסדות ההפקה – מרחק עשרות רבות של קילומטרים – לעבר תשתיות האגירה וההולכה היבשתיות, עלולה לגרום להשבתת משק החשמל של מדינת ישראל ולהשלכות רוחב נוספות על משק החשמל, על חצי יצוא ועל המאזן האנרגטי במרחב המזרח התיכון כולו, שכן לא רק מדינת ישראל תלויה בגז המופק משדות הגז השוכנים במים הכלכליים שלה.

במהלך השנים האחרונות, ובמלחמת חרבות ברזל ביתר שאת, הופסקה פעילות הפקה או שינוע של גז במתקנים אלו עקב הצורך להגן על מתקנים אלו מפני תקיפות במתווים שונים. חגורות ההגנה תוכננו ונבנו בשנים האחרונות בעיקר מפני איומים "נושמי אוויר", כמו כלי טיס בלתי מאוישים ומגוון טילים שאפשר לשגרם מהחוף לים, אשר אתגרו את משק האנרגיה כולו ואת הנכסים האסטרטגיים בים. אך כידוע, ובמלחמה האחרונה חווינו זאת פעם נוספת, אין יכולת להבטיח הגנה הרמטית שתסכל ותיירט את כלל האיומים באופן מוחלט של 100 אחוזי הצלחה, ולכן מספר פעמים במהלך המלחמה האחרונה, כמו גם במספר אירועי לחימה בעבר, הודממו אסדות הפקת הגז של מדינת ישראל על מנת למנוע נזק עצום אם ייפגעו.

האיומים על אסדות הגז ועל תשתיות ההולכה האמורות מגוונים, וניתן לחלקם לאיומים על-מימיים ותת-מימיים. היכולת של צבאות, צבאות טרור וארגוני טרור להפעיל מנעד רחב של איומים המסוגלים לפגוע במתקן אסטרטגי חשוב, שמשתרע על שטח של כמה מאות מטרים רבועים וניצב במיקום קבוע וידוע, הולכת ומשתפרת כל העת, כמובן לצד היכולות להתמודד עם איומים כאלה.

טילים המשוגרים מהחוף או טילים המשוגרים מכלי שיט, הנושאים עשרות קילוגרמים של חומר נפץ, מהווים איום חמור ביותר על מתקנים אלו, לצד יכולות מוטסות נוספות מאוישות ובלתי מאוישות שמתפתחות באופן מהיר בשנים האחרונות. זאת לצד איומים שיכולים להגיע למתקנים אלו על פני המים בתצורה של כלי שיט מאוישים או בלתי מאוישים, לפגוע באסדות הגז ולגרום להן נזק ניכר. מדינת ישראל בנתה חגורות הגנה נרחבות ואפקטיביות מפני איומים אלו, אשר הוכיחו עצמן במלחמה האחרונה, תוך הפגנת שיתוף פעולה מבצעי מרשים בין יכולות המודיעין ליכולות היירוט וההגנה המשולבות של זרוע האוויר זרוע הים. ואולם הפעלת מנעד רחב של יכולות מהסוג שתואר ובכמויות גדולות בו-זמנית יכולה לאתגר במידה רבה את יכולות ההגנה האמורות, ולהעמיד בסיכון את הרציפות האנרגטית של מדינת ישראל. פגיעה של איומים מסוג זה באסדה פעילה יכולה לגרום נזק עצום שעלול להשבית את היכולת להפיק או להזרים גז לתקופות ממושכות של שבועות ואף חודשים. פגיעה כזו באסדה מקוררת תגרום נזק מועט בהרבה ועלולה לגרום להשבתה של ימים עד שבועות, תלוי בסוג הפגיעה ובהיקף הנזק.

לצד האיומים העל-מימיים קיימים לא מעט איומים תת-מימיים שיכולים לפגוע במשק האנרגיה בצורה אנושה באמצעות פגיעה במתקני ההפקה מתחת למים, אולם לא רק באסדות הגז עצמן אלא גם בתשתיות ההולכה המזרימות את הגז מאזורי הקידוח וההפקה אל תשתיות האגירה וההולכה של הגז במדינת ישראל ובמדינות אחרות, שנהנות מהגז שאנו מפיקים במים הכלכליים של ישראל.

איומים תת-מימיים אלו הם מגוונים ומאיימים על התשתיות המונחות על קרקעית הים – איומים של צוללות מאוישות ובלתי מאוישות ובעיקר של כלי שיט צוללים בלתי מאוישים, שכיום ניתן להפעילם מרחוק ולגרום נזק כבד שהטיפול בו מורכב, יקר מאוד ודורש מיומנות גבוהה מאוד. חווינו כבר במהלך מבצע שומר חומות ניסיונות פגיעה של ארגון הטרור חמאס בתשתיות האנרגיה של מדינת ישראל, על ידי כלי צולל בלתי מאויש הנושא עשרות קילוגרמים של חומר נפץ שתוכנן לפגוע בתשתיות אלו, ובמלחמה האחרונה גברו ניסיונות אלו ושוכללו.

למרות שצה"ל הצליח לסכל ולמנוע פעילות זו כנגד תשתיות האנרגיה, אנו רואים התפתחות משמעותית בתווך התת-מימי ברחבי העולם שבאה לידי ביטוי בפיתוח יכולות לפגיעה בתשתיות הולכה תת-מימיות – תשתיות תקשורת או תשתיות אנרגיה. ניתן לראות כי באזור שלנו צבאות טרור משקיעים משאבים רבים לשיפור יכולותיהם בתווך זה. פגיעה בתשתית הולכה תת-מימית יכולה לגרום נזק כבד ולפגוע באופן אנוש באספקת הגז. מיותר לציין כי תיקון של פגיעה כזו בעומק רב של מאות מטרים מתחת לפני הים הוא מורכב מאוד, ממושך ויקר, ומעט מאוד מדינות וחברות מסחריות מסוגלות ויודעות לתת מענה כזה. פגיעה כזאת עלולה לגרום השבתה של שבועות מספר, במקרה הטוב.

מדינת ישראל משקיעה משאבים ומאמצים רבים כדי לשמור על נכסיה האסטרטגיים בים, המאפשרים לה רציפות אנרגטית ותפקודית. ואולם יש לזכור כי לעולם לא נצליח להגיע למענה מוחלט והרמטי שימנע כל יכולת של פגיעה או איום על תשתיות אלו, לצד הצורך הקבוע לבחון את רמת ההשקעה אל מול רמת הסיכון. על מנת לאפשר למדינת ישראל רציפות אנרגטית יש לזכור כי המענה אינו רק בהשקעה בחגורות הגנה, בשיפורן ובשכלולן אלא גם בשיפור היתירות והאפשרות "לשים את הביצים ביותר מסל אחד". על כן היכולת של מדינת ישראל להפיק כיום גז ביותר משדה או אתר הפקה אחד, כמו גם היכולת לייצר תשתיות הולכה שאינן תלויות רק בקו הולכה אחד הן חיוניות ומספקות חלק מהמענה. יש לזכור ולבחון כל העת מציאת חלופות נוספות לגז במשק האנרגיה של מדינת ישראל, התלוי רובו ככולו בגז המופק מהים, גם אם רק לתקופות קצרות שבהן נדרשת יתירות זו.

חלק ב

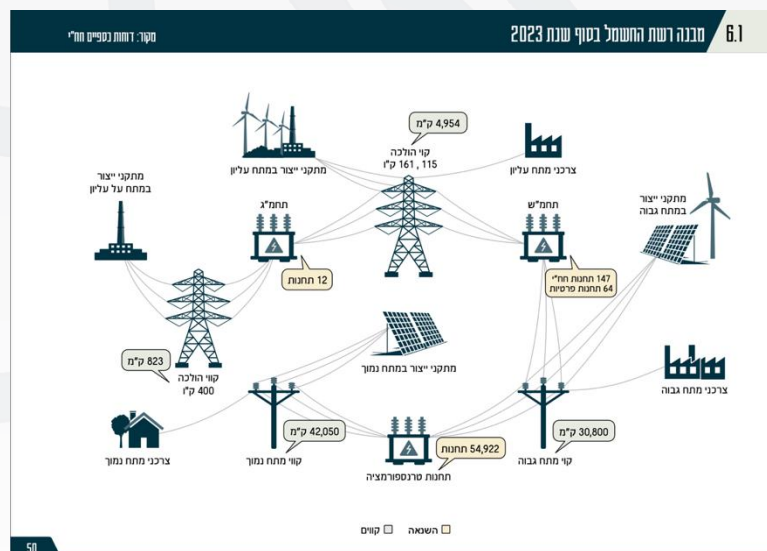
פרק 1: פיתוח רשת ההולכה לשם חיבור מתקני אנרגיה מתחדשת מרוחקים לרשת החשמל בישראל

רשת החשמל אחראית להובלת האנרגיה ממתקני הייצור אל הצרכנים. הרשת בישראל היא מערכת סגורה שאינה מחוברת למדינות שכנות ("אי חשמלי").

הרשת פועלת בשלוש רמות מתח עיקריות (תרשים 3 להלן):

1. **רשת הולכה במתח על-עליון ורשת הולכה במתח עליון** – משמשות לחיבור תחנות כוח בהספק של מאות מגה-ואט. אורך רשת מתח על-עליון היא כ-800 ק"מ ואורך רשת מתח עליון היא כ-5,000 ק"מ.
2. **רשת חלוקה במתח גבוה** – משמשת להעברת האנרגיה מרשת המתח העליון אל אזורי הצריכה. אורך הרשת כ-31 אלף ק"מ.
3. **רשת חלוקה במתח נמוך** – משמשת להעברת אנרגיה בתוך אזורי החלוקה אל צרכנים. אורך הרשת כ-42 אלף ק"מ.

תרשים 3 – מבנה רשת החשמל בישראל



מקור: רשות החשמל, [דוח מצב משק החשמל](#) לשנת 2023, עמ' 50

מעבר אנרגיה בין רמות מתח מתבצע באמצעות השנאה:

1. השנאה ממתח על-עליון למתח עליון – באמצעות 12 תחנות מיתוג (תחמ"ג).
2. השנאה ממתח עליון למתח גבוה – באמצעות 212 תחנות משנה (תחמ"ש).
3. השנאה ממתח גבוה למתח נמוך – באמצעות 55 אלף תחנות השנאה (טרנספורמציה).

הצרכנים מחוברים לרשת בהתאם לשיאי הביקוש שלהם:

1. צרכני אנרגיה בהספק גבוה מ-16 מגה-ואט מחוברים לרשת המתח העליון (לדוגמה בתי הזיקוק, מפעלי ים המלח).
2. צרכני אנרגיה בהספק בין 630 קילוואט ל-16 מגה-ואט מחוברים לרשת המתח הגבוה (לדוגמה קניונים, מרכזי תעשייה, מגדלי משרדים).
3. צרכני אנרגיה בהספק נמוך מ-630 קילוואט מחוברים לרשת המתח הנמוך. בקטגוריה זו נמצאים בעיקר הצרכנים הביתיים, אך גם אתרי צריכה קטנים (לדוגמה בתי ספר, מבני ציבור קטנים).

בעבר יוצרה כל האנרגיה בתחנות המחבורות לרשת המתח העליון, ולכן כדי להגיע אל צרכני הקצה האנרגיה זרמה מרשת ההולכה אל רשת המתח הגבוה, ומשם אל רשת המתח הנמוך. מאז שנת 2010 גדל בהדרגה היקף הייצור בתחנות כוח מבחורות, בעיקר במתקני אנרגיה מתחדשת ואגירה. חלק ממתקנים אלו מחוברים אל רשת המתח הנמוך או אל רשת המתח הגבוה בסמוך לאזורי הצריכה, ולכן זרימת האנרגיה אל הצרכנים ממתקנים אלו נעשית בתהליך קצר יותר. עודפי ייצור של אנרגיה מתחדשת ממתקנים המחברים לרשת החלוקה מועברים לרשת ההולכה באמצעות תחנות המשנה, ומשם לצרכנים באזורי ביקוש מרוחקים.

זרימת האנרגיה לאורך הרשת ודרך מתקני ההשנאה כרוכה באובדן של כשישה אחוזים מהאנרגיה המיוצרת. המעבר לייצור מבחר צמצם את האובדן לאורך הרשת.

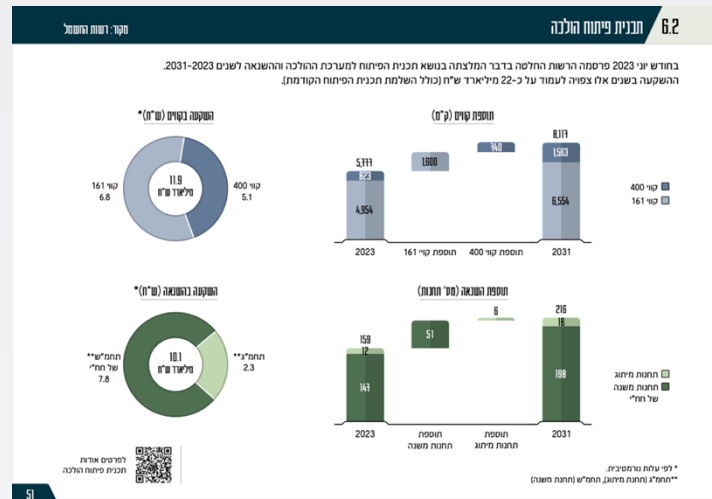
תוכנית פיתוח הרשת

בשנים 2023-2024 אושרו תוכניות לפיתוח רשת ההולכה ולפיתוח רשת החלוקה. ההשקעות נועדו:

1. לחבר צרכנים נוספים (משקי בית ומבנים חדשים).
2. לחבר כ-10 אלפים מגה-ואט של מתקני אנרגיה מתחדשת נוספים.

תרשים 4 להלן מציג את תוכנית פיתוח רשת ההולכה. העלות הכוללת של התוכנית היא כ-22 מיליארד ש"ח, מתוכם כ-12 מיליארד מיועדים לחיבור מתקני אנרגיה מתחדשת.

תרשים 4 – תוכנית פיתוח רשת ההולכה



דוח בקרה שפרסמה רשות החשמל¹⁰ בשנת 2024 מראה כי רק שליש מהפרויקטים צפויים להסתיים במועד. נמצא כי הסיבות העיקריות לעיכובים נוגעות לעיכוב בהליך האישור הסטטוטורי עקב התנגדות לקו או דרישה להטמנה. עוד עולה מהדוח כי הדרישה להטמנה נמשכת גם לאחר שהתוכנית להקמת הקו אושרה.

היבטים סביבתיים בפיתוח הרשת

ככלל, מדיניות המשרד להגנת הסביבה נותנת עדיפות להקמת מתקני הייצור בסמוך לאזורי הצריכה, על מנת למזער את הצורך בהקמת קווי רשת. ואולם המשרד מאפשר הקמה של קווי רשת לפי הצורך, תוך מתן מענה להיבטים סביבתיים.

שיקולים סביבתיים בפיתוח הרשת:

- השפעות אקולוגיות** – מזעור ההשפעה על המגוון האקולוגי כתוצאה מהקמת דרכי גישה, כריתת צמחייה וסיכון בעלי כנף.
- קרינה** – חשש ציבורי מהקמת קווים בסמוך לאזורי מגורים, גם במקרים שהוכח כי ההשפעה פחותה.
- השפעה נופית** – פגיעה במרחב הפתוח, בנוף הטבעי ובמורשת.

¹⁰ רשות החשמל, [דוח סטטוס מרכז לשנת 2024](#)

4. **תחרות על הקרקע** – קווי חשמל מגבילים את השימוש בקרקע, וכן פיתוח עתידי של שכונות מגורים.

תהליך התכנון הסטטוטורי

לפי החלטת בית המשפט העליון ב-2012, קווי חשמל 161 (מתח עליון) מחויבים בתוכנית ובתסקיר השפעה על הסביבה, למעט תוכניות תחזוקה ושדרוגים קטנים. קווי 400 (מתח על-עליון) מחויבים בתוכנית מתאר ארצית. קווי 161 מתאפשרים גם בסמכות ועדה מחוזית.

הזמן הנדרש להכנת תסקיר ההשפעה על הסביבה הוא כשנתיים. לאחרונה החלה חברת ניהול המערכת להפעיל חברות תכנון פרטיות כדי לאפשר קיצור של משך הכנת התסקיר.

תהליך התכנון מתאפיין בחוסר ודאות, קשיי תיאום והתמשכות תהליכים:¹¹

1. **ריבוי מוסדות תכנון** – כיום תוכניות מקודמות במספר מסגרות שונות: הות"ל, המועצה הארצית והוועדות המחוזיות. חוסר תיאום בין הגופים השונים גורם לחוסר ראייה כוללת, מה שמוביל להתנגשות בין תוכניות ופוגע ביעילות הפיתוח.
2. **קושי בסנכרון גופי התכנון בתהליך קבלת ההחלטות הממשלתי** – שר האנרגיה ושר האוצר מאשרים את תוכניות הפיתוח. לאחר אישורם הן מגיעות לאישור גופי התכנון, ונחיצות הפרויקטים נדונה מחדש. גופי התכנון מצביעים על חשיבות ההתייעצות בשלבי התכנון המוקדמים, כדי למנוע את התארכות התהליך בהמשך.
3. **דרישות להשלמת תסקיר ההשפעה על הסביבה**, שלא נכללו מראש בהנחיות לתסקיר.
4. **ריבוי הגורמים הנדרשים להתייחס לתוכנית לצורך תיאום** – בפרט נדרש אישור רשות הטבע והגנים ואישור של מערכת הביטחון. התהליך מחייב בחינת חלופות, כולל חלופת תת-קרקע. תהליך האישור עשוי להימשך בין שלוש לעשר שנים.
5. **תיאום בין חברת החשמל לבין נגה** – תהליך התכנון מחייב תיאום בין שתי החברות.
6. במקטע החלוקה נדרש גם תיאום **עם הרשויות המקומיות** – הרשויות צריכות להקצות שטחים ולתאם עם חברת החשמל את שדרוג הרשת.
7. **תלות בין תהליכי תכנון** – קו אחד מתעכב עד לאישור קו אחר.
8. **דרישות לשינוי תוואי קווים**.

¹¹ דוח הצוות הבין-משרדי לעניין [האצת פריסת רשת הולכת החשמל](#).

9. **מחסור בכוח אדם בחברת נגה** – נגה מקדמת תוכניות רבות במקביל, וריבוי החסמים בכל תוכנית מחייב פגישות תיאום מרובות ומעורבות גורמים בכירים בחברה. היקף כוח האדם העוסק בקידום התוכניות אינו מספק, אף שנגה נעזרת בחברות ייעוץ חיצוניות (כגון חברת אביב).
10. **חלק מהרשויות הנדרשות להתייחס לתוכניות בתהליך האישור אינן מגיבות במהירות מספקת ויוצרות צוואר בקבוק בתהליך** – בפרט נתיבי ישראל, רשות העתיקות ומקורות מתאפיינות בתגובה איטית, שמביאה להתארכות משך אישור התוכניות.

הטמנה

בשנת 2023 קבע שר האנרגיה מדיניות בעניין הטמנת קווי הולכה. המדיניות קובעת כי הקווים יוטמנו באזורים בנויים (או מיועדים לבנייה), באזורים שבהם יש צורך הנדסי בהטמנה, באזורים שבהם ההטמנה פותרת צוואר בקבוק ברשת, בסביבה החופית וכן בשמורות טבע ובגנים לאומיים.

נוסף על כך קובעת המדיניות מכסה להטמנת קווי הולכה באורך מצטבר של 50 ק"מ מתוך כלל הקווים בתוכנית הפיתוח.

מהראיונות שנערכו לקראת ימי העיון שהתקיימו במכון עולה כי ניתן היה לפתור חלק מההתנגדות לאישור קווי רשת נוספים באמצעות הטמנה של קווים נוספים.

בנייה בלתי חוקית

בישראל יש התיישבות בלתי חוקית מתחת לקווי הרשת באזור הנגב, בשרון, בירושלים ובצפון הארץ. המדינה מתקשה לפנות אותם ותהליכים משפטיים קשורים נמשכים זמן רב, מה שמעכב הקמת קווים ומתקני חשמל. כך לדוגמה, קו אשכול-נגב באורך 100 ק"מ עמד שלוש שנים ללא חיבור בשל עיכובים בפינוי בדואים.

פתרונות בעולם לגודש ברשת

דוח של IEA, סוכנות האנרגיה הבינלאומית,¹² מציג את הגודש ברשת כאתגר מרכזי להתפתחות משקי חשמל בעולם, ובפרט למעבר לחשמל ירוק. לפי הדוח על המדינות לשקול פתרונות מערכתיים לאתגר הרשת, ובכלל זה:

1. טכנולוגיות להגברת קיבולת הרשת הקיימת.
2. שדרוג הרשת הקיימת עם מוליכים בעלי קיבולת גבוהה יותר (reconductoring).

¹² IEA, 2025, [Building the Future Transmission Grid; Grid congestion is posing challenges for energy security and transitions.](#)

3. העלאת רמת המתח של הקווים על מנת להגדיל את קיבולת הקו (voltage uprating). פתרון זה יושם בהולנד, שם העלו את רמת המתח של הקווים מ-10 ל-20 קילו-ואט. שינוי זה אפשר להגדיל פי ארבעה את הקיבולת של קווי רשת החלוקה.
 4. ניהול דינמי של העומס על הקווים באמצעות סנסורים, המבקרים את העומס בפועל ומאפשרים לקבוע באופן מיטבי בזמן אמת את העומס האפשרי על הקו (Dynamic Line Rating). פתרון זה יושם במדינות רבות, למשל [בבלגיה](#).
 5. חיזוק הדיאלוג בין מפתחי הרשת לבין גופי התכנון והיזמים, על מנת לאתר צרכים עתידיים ולזהות מראש את המגבלות.
 6. שקיפות מידע ליזמים.
 7. פרסום מפות מידע מעודכנות המאפשרות לאתר אזורים שבהם ניתן לחבר מתקנים לרשת. המפות יעודכנו לעיתים קרובות על ידי מנהל המערכת ומנהל רשת החלוקה.
 8. המפות יפרטו הגבלות ודרישות פרטניות מהמתקנים המחוברים בכל אזור. לדוגמה, הגבלה על שעות הזרמה לרשת והגבלה על שעות טעינת אגירה. כן יצוינו המועדים שבהם יוסרו ההגבלות.
 9. שילוב מתקנים סולאריים וחוות רוח על גבי אותו חיבור על מנת לנצל את הרשת הקיימת.
 10. ייעול תהליך האישור התכנוני – הגברת הוודאות לדרישות התכנון בראשית התהליך, וקיצור התהליך.
- סקירה שפרסמה לאחרונה חברת הייעוץ McKinsey¹³ מלמדת כי הרשת מהווה אתגר מרכזי לשילוב אנרגיה מתחדשת במדינות רבות בעולם. עיקרי התובנות מהסקירה:

1. מדינות רבות מתמודדות עם שני אתגרים מרכזיים בשילוב אנרגיה מתחדשת ברשת:
 - קיבולת הרשת אינה תואמת את הצורך – נדרש פיתוח מהיר של הקיבולת.
 - רשת החלוקה אינה ערוכה לניהול אמצעי ייצור מבחרים בעלי מאפייני ייצור וולטיליים.
2. תכנון מבוסס תרחישים הסתברותיים שמבטאים אי-ודאות לגבי ביקוש, ייצור ותקלות. זיהוי צווארי הבקבוק ברשת לאור ניתוח התרחישים.
3. פישוט תהליך הגשת הבקשה לחיבור תוך הגדרה ברורה של דרישות.
4. ייעול תהליך הספקת הציוד להקמת הרשת באמצעות שותפויות עם ספקי הציוד וניהול יעיל של שרשרת האספקה.
5. הרחבת הגישה למידע זמן אמת על מצב הרשת באמצעות כלים דיגיטליים וסנסורים.

¹³ McKinsey 2024, [How grid operators can integrate the coming wave of renewable energy](#)

6. שיפור מגוון אמצעי הגמישות העומדים לרשות מנהל המערכת על מנת לתת מענה לאירועי עומס, כגון ניהול הביקוש, קיטום הייצור ואגירה.

7. שימוש בכלים מתקדמים לניהול הרשת.

פתרונות מערכתיים לחסמי פיתוח הרשת בישראל

פיתוח רשת ההולכה ושימוש יעיל ברשת הקיימת לשם חיבור מתקני אנרגיה מתחדשת עשויים לצמצם את החשיפה של משק החשמל לפגיעה בתשתית הגז ובתחנות הכוח, ובכך לתרום תרומה חשובה לביטחון האנרגטי של ישראל. להלן מפורטים מגוון פתרונות שיאפשרו להאיץ חיבור אנרגיה מתחדשת לרשת.

עדכון תוכנית הפיתוח

תוכנית פיתוח רשת ההולכה גובשה לפי סקר פוטנציאל יצור אנרגיה מתחדשת שהכינה נגה בשנת 2022. מומלץ לעדכן את התוכנית בשני היבטים מרכזיים:

1. **שילוב פוטנציאל הייצור האגרי-וולטאי במפת הפוטנציאל הארצי** – בשנים האחרונות הובנה החשיבות של שילוב ייצור סולארי בשדות חקלאיים (אגרי-וולטאי), ובימים אלו מכין מנהל התכנון תמ"א למתקנים אגרי-וולטאיים שתאיין אישור תוכניות למתקני ייצור. מוצע לשלב את האזורים הפוטנציאליים למתקנים אגרי-וולטאיים במפת הפוטנציאל הארצי ולעדכן את תוכנית פיתוח הרשת בהתאם.

2. **שילוב מתקנים עתירי צריכת חשמל** כגון Data Centers בסמוך לאזורי הפוטנציאל, על מנת לצמצם את הצורך בפיתוח הרשת לשם חיבור המתקנים הסולאריים.

תוכנית האצה לאישור תוכנית פיתוח הרשת

מדיוני השולחן העגול בימי העיון עלה כי יש להעדיף הליכי תכנון סדורים על פני הליכי הרשאה, על מנת לתת ביטוי למכלול השחקנים המושפעים מפיתוח הרשת. ואולם יש להסדיר את תהליך התכנון באופן שימנע עיכובים בתכנון.

לאור זאת מוצע לגבש תוכנית האצה לאישור תוכניות פיתוח הרשת, שעקרונותיה הם:

1. **תוקם ועדת משנה בות"ל לאישור תוכניות פיתוח הרשת** – סמכויות הוועדה ואופן פעולתה ייקבעו בחוק ההסדרים.

2. **משרד האוצר יקצה לוועדה משאבי כוח אדם ייעודיים.**

3. **הוועדה תפעל לאישור אזורי של מספר קווים יחד כדי לתת מענה למצב הקיים, שבו עיכוב אחד מעכב אישור של קו אחר.**

4. **הוועדה תגדיר מראש דרישות סביבתיות.**

5. הוועדה תהיה אחראית גם להיתר הבנייה, על מנת לתת למענה למצב שבו לאחר אישור תוכנית, הוועדה המקומית מעכבת את מתן ההיתר ומתנה אותו בתיקונים נוספים בתוכנית.

6. הוועדה תקבע לכל תוכנית **החלטה מקדמית** (פרה-רולינג) לאופן קידום התוכנית – בשלב הראשון יתוכננו חלופות ראשוניות לתוואי הקווים ויבוצע תיאום ראשוני עם בעלי עניין (המשרד להגנת הסביבה, רשות הטבע והגנים, משרד התחבורה, וחברות התשתית). לאחר התיאום הראשוני יתקבלו הנחיות מוסד התכנון למתכונת הקידום, תוך התייחסות לסוגיות העיקריות: תוכנית או הרשאה, הטמנה, תוואי ראשוני וקביעת תוכנית עבודה עד למתן תוקף.

7. הוועדה תגדיר **מצבים שבהם ניתן להקל ולקצר את תהליך התכנון:**

- **הקלה בדרישות תסקיר השפעה על הסביבה לקווים מוטמנים.**
- **הרחבת הקו הכחול של התוכנית** כך שניתן יהיה להסיט את הקו לפי הצורך ללא עיכוב.
- **"קו תמורת קו"** – הליך מקוצר לאישור במצב שבו קו חדש מוקם במרחק של עשרות מטרים מקו קיים.
- **קיצור הליך התכנון של שינויים בתוך תחנות משנה** – החלפת שנאי בתחנה קיימת בפטור מהיתר, הרחבת תחנת משנה קיימת בהליך מקוצר.

תוכנית תמ"א 41 – שדרוג קווי הולכה

השולחן העגול הדגיש את חשיבות תמ"א 41 – תוכנית בשיתוף של משרד האנרגיה והתשתיות, מנהל התכנון וחברת נגה – שתאפשר שדרוג ושחלוף קווי הולכה בתכנון מהיר יותר ללא צורך בבחינת חלופות מעמיקה, מה שיצמצם זמני אישור וימנע התחלת תהליכים תכנוניים מחדש. התוכנית אושרה במועצה הארצית אך לא בממשלה, מומלץ לפעול לאישורה בהקדם.

הרחבת מדיניות ההטמנה

מדיניות ההטמנה שאישר שר האנרגיה בשנת 2023 מאפשרת הטמנת קווים בשטחים בנויים, באזורים שבהם הקו עלול להביא לפגיעה נופית בסביבה החופית ובשמורות טבע. נקבעה גם מכסה של 50 ק"מ להטמנת קווים נוספים.

כיום יש אפשרות להטמנה של קווי 161. הטמנת קווי 400 מחייבת פתרון טכני לאתגרים הנובעים מהקמת קווי מתח על-עליון. אומנם עלות ההטמנה מייקרת מאוד את הקמת הרשת, אולם ההטמנה מאפשרת שימושים אחרים בקרקע ומתקנת את המצב הקיים, שבו צרכני החשמל אינם נושאים בעלות של פגיעה בשימושים אחרים בקרקע.

לנוכח העיכוב המשמעותי של אישור קווים עיליים מוצע לשקול הטמנה של קווים נוספים. ההצדקה הכלכלית להטמנה הנוספת צריכה להיבחן בין השאר גם לאור התרומה של ההטמנה להקדמת חיבורם של מתקני אנרגיה מתחדשת.

הרחבת אמנת השירות של הגופים המעורבים בתהליך התכנון

אמנת השירות קובעת זמנים לתגובה של חברת תשתית בהתייחס לתוכניות המקודמות על ידי חברות תשתית אחרות. על האמנה חתומות כיום חברות ממשלתיות בתחום האנרגיה ובתחום התחבורה. יש להרחיב את האמנה ולכלול בה גם חברות מתחום התקשורת.

שילוב חברות פרטיות בקידום קווי רשת

הרפורמה במשק החשמל בשנת 2018 קבעה כי חברת החשמל תהיה מונופול לעניין הרשת, כך שרשת במרחב הציבורי תוקם ותהיה בבעלות של חברת החשמל בלבד.¹⁴

חלק מהמוראיינים העלו את האפשרות שמקטעי הרשת המחברים את פרויקטי האנרגיה המתחדשת אל רשת ההולכה יוקמו על ידי חברות פרטיות, ולאחר מכן יועברו לבעלות חברת החשמל. הקווים יוקמו לפי קריטריונים טכניים שתקבע חברת ניהול המערכת, על מנת להבטיח שילוב מיטבי ברשת הקיימת. כמו כן הוצע לאפשר לחברות הפרטיות לקבל אחריות לקידום הסטטוטורי שלל הקווים, בכפוף להנחיות מנהל המערכת. לפיכך שילוב החברות הפרטיות יאפשר להאיץ את החיבור לרשת בלי לפגוע בעקרונות שנקבעו ברפורמה.

מוצע לאפשר לחברות אנרגיה פרטיות לשמש קבלניות משנה של חברת החשמל לצורך פיתוח הרשת:

1. קידום סטטוטורי של קווים על ידי חברות פרטיות.
2. הקמה של מקטעים לחיבור פרויקטי אנרגיה לרשת ההולכה על ידי חברות פרטיות.
3. הקמת תחנות משנה על ידי קבלנים פרטיים.

מיצוי הרשת הקיימת – קריטריונים לחיבור

תהליך החיבור לרשת כפוף לאישור:

1. חיבור לרשת ההולכה – אישור מנהל המערכת.
2. חיבור לרשת החלוקה – אישור חברת החשמל, בהתאם להגבלות ולקריטריונים שמגדיר מנהל המערכת.

¹⁴ למעט שטחי מחלקים היסטוריים ושטח חברת החלוקה של מזרח ירושלים.

תהליך האישור מחייב ניהול סיכונים ובחינת מצבים שבהם החיבור עלול לפגוע ביציבות הרשת. כיום העומס המותר על הרשת נקבע ביחס לשתי תקופות בשנה (קיץ וחורף), תוך התייחסות למזג האוויר האופייני לכל עונה. מוצע ליישם קריטריון דינמי (Dynamic Load Rating) שלפיו העומס המותר על הקו ייקבע ברמה יומית, לפני תנאי מזג האוויר ומצב הקו בפועל.

שינוי זה במדיניות העומס המותר על הקווים, בשילוב אפשרות לקיטום מתקני אנרגיה מתחדשת בימי קיצון שבהם העומס על הקו עלול לגרום פגיעה ברשת, יאפשר לחבר מתקנים נוספים לרשת הקיימת עוד לפני השלמת תוכנית הפיתוח.

כמו כן מוצע לשקול הקלות זמניות בקריטריון האמינות עד להשלמת פיתוח הרשת. כך יתאפשר חיבור של מתקנים לרשת הקיימת. בכל מקרה שיעלה חשש לאמינות הרשת הפרויקט ינותק מהרשת ללא פגיעה באספקת החשמל לצרכנים. גישה זו תאפשר להקדים את חיבור המתקנים בכפוף להסכמת היצרנים לשאת במשמעויות הפיננסיות עקב ניתוקים אפשריים של המתקן.

מיצוי הרשת הקיימת – פתרונות טכנולוגיים

יישום פתרונות טכנולוגיים (GET – Grid Enhancing Technologies) לשיפור ניהול העומס ברשת עשוי לאפשר חיבור מתקנים נוספים על גבי הרשת הקיימת. בכלל זה:

1. התקשרות עם **יועצים ומומחים** בינלאומיים שיסייעו לנגה למצות את החיבור לרשת הקיימת.
2. שימוש ב**מוליכים מתקדמים** להגדלת הקיבולת של קווי רשת קיימים.
3. שילוב **סנסורים מתקדמים** שיאפשרו לחברת החשמל ולנגה לקבל מידע בזמן אמת על מצב הרשת, וניהול העומס בהתאם.
4. **מערכות מתקדמות לניהול לייצור מבוזר** (DERMS) וכן לניטור ובקרה של העומס על הקווים, נוסף על האתגר הטכנולוגי. יישום פתרון זה מחייב גם תיאום בין שני מנגנוני הניהול הקיימים כיום:
 - פיקוח ההולכה המנוהל על ידי חברת החשמל; הפיקוח אחראי גם לניהול רשת החלוקה.
 - מערך התפעול של נגה.
5. **שילוב מתקני אגירה** – שימוש באגירה לניהול עומסים.
6. **שדרוג קווים קיימים** – הגדלת קיבולת הקו באמצעות החלפת המוליכים והעלאת מתח הקווים.
7. **דיגיטציה של הרשת** – העברת מידע בזמן אמת לפיקוח על ההולכה, כך שיתאפשר ניהול העומס על הרשת על סמך מידע עדכני. כך ניתן יהיה לשמור פחות חרבה ולאפשר חיבורים למתקני ייצור נוספים.
8. **פרסום מידע עדכני לציבור על התכנות החיבור לרשת באזורים שונים** – על מנת לקדם מיזמים באזורים שבהם ניתן להתחבר לרשת.

9. פרסום "תור לחיבור" שיאפשר ליזמים לדעת כמה מגה-ואט ממתנים לחיבור בכל אזור.

בנייה בלתי חוקית

משא ומתן עם הבדואים ותשלום עבור פינוי זמני לתקופת חיבור הקו.

ועדה להסרת חסמים

הקמה מחדש של הוועדה וקיום פגישות עיתיות.

הוועדה תאפשר בחינה הדדית של חסמים ועיכובים באישור תוכניות הרשת.

פרוטוקול הפגישות יפורסם לציבור.

פרק 2: רשתות מקומיות מנוהלות (מיקרוגריד) כמענה לביטחון אנרגטי

רקע

לאורך השנים התבססו משקי החשמל בעולם על ייצור בתחנות כוח גדולות, שמהן הועברה האנרגיה לצרכנים באמצעות רשת ההולכה.

בשנים האחרונות מתרחשות שלוש מהפכות בשוק האנרגיה (The three D's):¹⁵

1. מהפכת הביזור Decentralization – האנרגיה מיוצרת ברשת החלוקה במתח נמוך וגבוה בסמוך לצרכנים.
2. מהפכת הפחתת הפליטות Decarbonization – מעבר מייצור בתחנות כוח פוסיליות לייצור ממקורות מתחדשים.
3. מהפכת הדיגיטציה Digitization – התפתחות יכולות מחשוב וניהול אנרגיה. במקביל חלה ירידה חדה במחירי הסוללות, ולכן ניתן לשלב במערכות הייצור המבזרות גם יכולת אגירה ולהבטיח את הספקת האנרגיה גם בשעות שמקורות האנרגיה המתחדשת אינם זמינים. מגמות אלו יוצרות הזדמנות לקרב את הייצור אל הצרכנים ולאפשר ניהול מקומי של הביקוש, הייצור והאגירה, כך שהצורך ב"יבוא" אנרגיה מהרשת הארצית וב"יצוא" של עודפי אנרגיה אל הרשת הארצית יצטמצם. בשגרה הרשת המקומית מחוברת אל הרשת הארצית, אך במצבי קיצון כגון איום ביטחוני או אירוע קיצון אקלימי הרשת המקומית תוכל לפעול גם במנותק מהרשת הארצית. פיתוח ועידוד רשתות מקומיות מנוהלות עשוי לתרום מגוון יתרונות למשק החשמל.

יתרונות ברמה הארצית:

1. צמצום הצורך בפיתוח רשת ההולכה.
2. צמצום הצורך בהקמת כושר ייצור ברמת הארצית, באמצעות ייעול השימוש באנרגיה המיוצרת ברמה המקומית.
3. הגדלת שיעור האנרגיה המתחדשת.
4. צמצום דקות אי-אספקה.

¹⁵ Prince, S.L. (2017, April 12). *Determining direction: The three Ds of an energy sector in transition*. [Energy Storage News](#).

יתרונות ברמה המקומית:

1. הכנסה ממכירת אנרגיה ממתקנים מקומיים מבחרים.
 2. ביטחון אנרגטי בחירום.
 3. החלת עלות החשמל באמצעות רכישה מרוכזת עבור כלל הביקוש ברשת המקומית, בהתאם למונה בנקודת החיבור לרשת הארצית.
- קידום רשתות מקומיות מנוהלות מעורר שאלות של צדק חברתי: הרשת המקומית מאפשרת לקבוצות באוכלוסייה הכללית ליהנות ממחיר חשמל נמוך יותר ומהכנסות מייצור חשמל בשגרה, ומביטחון אנרגטי בחירום.
- לאור זאת, על קובעי המדיניות לבחון אם התועלת המשקית מעידוד רשתות מקומיות מנוהלות מצדיקה את התמיכה בהקמתן. בפרט נדרש לכמת במדויק את התועלת מצמצום פיתוח רשת ההולכה ובחיסכון בכושר ייצור.

רשתות מקומיות מנוהלות בעולם

הרעיון של רשתות מקומיות מנוהלות התפתח תחילה באזורים מרוחקים שבהם היה קושי לבסס את האספקה על חיבור לרשת הארצית, בכלל זה איים (כגון האי Kodiak באלסקה, או האי Eigg בסקוטלנד) או יישובי ספר מרוחקים. בשנים האחרונות גובר העניין ברשתות מקומיות מנוהלות גם בקמפוסים תעשייתיים או אוניברסיטאות (כגון אוניברסיטת קליפורניה בסן דייגו, אוניברסיטת פרינסטון, אוניברסיטת MIT), המעוניינים לבסס את מלוא הצריכה על אנרגיה ירוקה ולהבטיח בעצמם את אמינות האספקה.

דוגמה לרשת עצמאית ניתן למצוא [בקמפוס סימנס בווינה](#) ובאי Kodiak באלסקה.¹⁶ נוסף על אלו נדונה בספרות המקצועית גם האפשרות של רשתות מקומיות מנוהלות ביישומים טכנולוגיים ייחודיים, בפרט:

1. מערכות ימיות – כגון אוניות גדולות, או אסדות להפקת גז ונפט בעומק הים.¹⁷
2. תחנות חלל – מאוישות או לא-מאוישות.¹⁸
3. בסיסי צבא מרוחקים.
4. מכרות באתרים מרוחקים.

¹⁶ Clamp A., (2020). Microgrid with energy storage: Benefits, challenges of two microgrid case studies . [NRECA](#).

¹⁷ Jin, Z., Sulligoi, G., Cuzner, R., Meng, L., Quintero, J.C.V., & Guerrero, J.M. (2016). Next-generation shipboard dc power system: Introduction smart grid and DC microgrid technologies into maritime electrical networks. [IEEE Electr. Mag.](#) 4(2) 45–57.

¹⁸ L. Tarisciotti, A. Costabeber, L. Chen, A. Walker, M. Galea (2019). Current-fed isolated DC/DC converter for future aerospace microgrids. [IEEE Trans. Ind. Appl.](#) 55(3), 2823–2832.

האתגר הטכנולוגי ברשות מקומיות מנוהלות

ניהול רשת עצמאית מחייב לתת מענה מקומי לאיזון הרשת, במקום מנהל רשת החלוקה ו/או מנהל רשת ההולכה, שאחרים לאיזון הרשת בשגרה,¹⁹ בכלל זה:

1. **מענה לשינויים בעומס ובייצוב התדר** – מנהל הרשת הארצית אחראי לחזות את הביקוש מראש ולהתאים את הייצור לביקוש. מנהל הרשת אחראי לעקוב בזמן אמת אחר שינויים בעומס ולתת להם מענה באמצעות ניהול העומס של יחידות הייצור וניהול הביקוש. כאשר הרשת מנוהלת באופן עצמאי במנותק מהרשת הארצית, יש לתת מענה לשינויים אלו באמצעות אמצעי ייצור ואגירה המחברים לרשת המקומית. שירות זה עשוי להיות מאתגר במיוחד ברשת עצמאית, משום שאמצעי הייצור והאגירה העומדים לרשות מנהל הרשת המקומית מועטים יחסית, ושינויים קטנים יחסית בצד הביקוש – אשר השפעתם על הרשת הארצית זניחה – עשויים להתבטא בשינוי משמעותי של שיעור העומס על הרשת המקומית.
2. **זרמי קצר נמוכים** – זרמי קצר נמוכים ברשת מקומית עשויים להביא לתגובה איטית של מערכות ההגנה.
3. **ייצוב מתח והספק ריאקטיבי** – נפילת מתח (Voltage Droop) במיקרוגרד היא תופעה שבה מתח היציאה של מערכת החשמל יורד ככל שהעומס עולה. הסיבה העיקרית לכך היא ההתנגדות והעכבה החשמלית (אימפדנס) של הקווים, וכן תגובת הבקרה של ממירי הכוח במערכת מבחזרת.
4. **בטיחות** – במקרה של תקלה עלולה להיווצר עליית מתח שתהווה סיכון בטיחותי.
5. **מעבר ממצב מקוון (grid-connected) למצב מבודד (islanded)** – המעבר למצב מבודד עלול להביא לכך שאמצעי הייצור ברשת המקומית יתנתקו מהרשת (trip), ולא ניתן יהיה לספק את הביקוש. לכן נדרשת יכולת ניהול מעבר בין מצבי ההפעלה באופן חלק, מבלי לפגוע ביציבות הרשת או באספקה לצרכנים.
6. **הגנה** – ברשת החלוקה הארצית מותקנות מערכות להגנה מפני איומי סייבר ולאיתור תקלות וסיכוני בטיחות. כאשר רשת מקומית מתנתקת מהרשת הארצית היא עשויה להיוותר ללא הגנות מספקות וללא מענה בטיחותי מספק.

¹⁹ Uddin, M., Mo, H., Dong, D., Elsayah, S., Zuo, J., & Guerrero, J.M. (2023). Microgrids: A review, outstanding issues and future trends. *Energy Strategy Reviews*, 49, 101127.

הפתרונות האפשריים לאתגרים הטכנולוגיים כוללים:

1. **מערכת ניהול EMS (Energy Management System)** עם אלגוריתמים מתאימים לניהול אמצעי ייצור ואגירה מבחרים, תוך בקרה בזמן אמת של הייצור והביקוש.
2. **מונים חכמים** לניטור בזמן אמת של הייצור והביקוש.
3. **יישום בקרת droop** משופרת, שמביאה בחשבון את חלוקת העומס בין מקורות שונים.
4. **ממירים חכמים (Smart Inverters/Grid Forming Inverters)** עם יכולת בקרת מתח ותדר.
5. **מתגי מעבר מהירים (Fast Transfer Switches)**, שמזהים תנאי ניתוק ומבצעים מעבר תוך מילי-שניות ממצב מקוון למצב מבודד.
6. **התקנת VSG (Virtual Synchronous Generators)** – ממירים שמדמים התנהגות של גנרטור סינכרוני ומספקים "אינרציה וירטואלית".
7. **שימוש בקבלים** (נוסף על מערכות האגירה) לשם ייצוב המתח.
8. **ניהול הביקוש (Demand Control)** – שליטה ברמת העומס של הביקוש באזורים שונים ברשת העצמאית על מנת לייצב ולאזן את הרשת.

היתכנות רשתות מקומיות מנוהלות לאור הרפורמה במשק החשמל

החלטת הממשלה 3859 בעניין רפורמה במשק החשמל מיום 3 ביוני 2018 קבעה כי חברת החשמל תהיה מונופול לעניין ההקמה, ההפעלה והתחזוקה של רשת ההולכה והחלוקה בישראל. עם זאת ההחלטה אפשרה הקמת רשת על ידי גורמים פרטיים עד 10 אחוזים מהיקף רשת החלוקה, בשלושה מצבים:

1. **מחלקים היסטוריים** – קיבוצים ויישובים דרזיים שבהם הרשת אינה בבעלות חברת החשמל, והאחריות להקמה, להפעלה ולתחזוקה היא של חברת חלוקה מקומית.
2. **חברת החלוקה של מזרח ירושלים.**
3. **"חטיבות קרקע"/קמפוסים** – שטח פרטי רציף שבו לא עוברת דרך ציבורית, בכלל זה בתי חולים, אוניברסיטאות, מרכזי תעשייה ומפעלים. בשטחים אלו בעל הקרקע רשאי להקים רשת מקומית, אמצעי ייצור ואגירה במתח נמוך וגבוה, ואף למכור חשמל לצרכנים בשטח חטיבת הקרקע ללא צורך ברישיונות חלוקה, ייצור או אספקה. זאת למעט שטחי קרקע שבהם קיימת היום רשת של חברת החשמל, וכן דירות למגורים.

לאור זאת, רשתות מקומיות מנוהלות יכולות להתפתח בישראל בשני אופנים:

1. **רשת עצמאית בבעלות חברת חלוקה פרטית** – למשל בשטח קיבוץ או בחטיבת קרקע פרטית – שתכלול אמצעי ייצור ואגירה ומערכת לניהול האנרגיה.
2. **רשת עצמאית בבעלות חברת החשמל** – שיוקמו בה אמצעי ייצור ואגירה פרטיים, וחברת החשמל תשלב בה מערכת לניהול אנרגיה מקומית שתאפשר לרשת המקומית להתנתק מהרשת הארצית בחירום.

לפי גישת חברת החשמל אין מניעה לעודד רשתות מנוהלות מקומיות מנוהלות, אולם:

1. יש לשמור על המוסכם ברפורמה במשק החשמל, שלפיה חברת החשמל תהיה אחראית להקמת תשתית הרשת בשטח ציבורי, וכן תהיה אחראית על ניהול הייצור המבוצר.
2. ככלל יש להשאיר את האחריות להקמה, לתפעול ולתחזוקה של כלל רשת החלוקה בידי גורם מקצועי אחד (חברת החשמל) עם יתרון לגודל, המיישם סטנדרטים אחידים ושוויוניים לחיבור לרשת. רק כך ניתן להבטיח מענה יעיל לאתגר הטכנולוגי בכלל ולייצור מבוצר רחב בפרט, מניעת ניגוד עניינים בחיבור יצרנים לרשת מקומית ומענה לסוגיות תפעוליות ובטיחותיות. לפי מתווה זה התחרות תתקיים בהקמת מתקני הייצור והאגירה, אך לא בהקמת הרשת.
3. יש להסדיר באמות המידה את הממשק בין חברת החלוקה לבין ניהול הרשת המקומית.
4. יש לשפות את חברת החשמל על העלות העודפת שתיווצר עקב הצורך בהתאמת הרשת לעבודה מול רשתות מקומיות, על מנת למנוע סבסוד צולב.
5. החברה מקימה כיום מערכת לניהול רשת החלוקה DERMS. היישום המלא של המערכת חיוני על מנת לאפשר מאוחר יותר גם ניהול רשת מקומית, כמו גם ניהול ייצור מבוצר בזמן אמת.
6. החברה מעוניינת להקים בעצמה מתקני אגירה שישתלבו ברשת המקומית וינהלו על ידה לטובת כלל המשק, במקביל לצורכי הקהילה המקומית.

רשתות מקומיות מנוהלות במבנים/קמפוסים

הקמת רשת עצמאית במבנה/קמפוס מותרת על ידי הרגולציה. כדי לאפשר הפעלה עצמאית של הרשת במבנה/קמפוס נדרש:

1. **יכולת ייצור עצמאית בהיקף דומה לביקוש של המבנה** – במבנים רבים שטח הגגות קטן יחסית ואינו יכול לאפשר מענה לביקוש. מערכות הממוקמות על קירות המבנים מגדילות את היקף הייצור המקומי. עם זאת הקרינה על קירות מבנים נמוכה במידה משמעותית מהקרינה על הגגות.

2. **אגירה** – מערכות אגירה סמוכות למבנים מחייבות היתר בנייה ואישור כיבוי אש.
3. **מערכת ניהול אנרגיה מקומית** – הבשלות הטכנולוגית עדיין מחייבת הוכחה. העלות לקמפוס עשויה להגיע לכחצי מיליון ש"ח.
4. **תמריץ כלכלי** – לצרכני תעו"ז, המרווח בין השפל לפסגה מאפשר כדאיות כלכלית לאגירה. בבניינים או דירות המחויבים לפי תעריף אחיד אין כיום תמריץ להקמת אגירה.

עיריית תל אביב מובילה את הפעילות בתחום זה, בפרט:

1. היתר בנייה למבנה חדש בעיר ניתן בכפוף לתכנון אנרגטי.
2. העירייה שואפת להתרחב מניהול חכם של מבנים גם לניהול חכם של המרחב העירוני.

רשתות מקומיות מנוהלות בקיבוצים

הקיבוצים הם אתרים מועדפים לרשתות מקומיות מנוהלות. ראשית, הרשת בקיבוץ היא בבעלות חברת החלוקה המקומית. שנית, בקיבוצים יש שיעור גבוה יחסית של ייצור מקומי במתקנים סולאריים, וכן יש בקיבוצים רבים גנרטורים לחירום. לצד זאת חלק מהקיבוצים ממוקמים בסמוך לגבול, באזורים שבהם קיים חשש ביטחוני לרציפות האספקה.

בישראל הוקמו רשתות מקומיות מנוהלות ("מיקרוגרید") בקיבוץ שובל ובקיבוץ מעלה גלבוע:

1. הרשת בקיבוץ שובל הופעלה בהצלחה במספר מקרים של הפסקת חשמל ברשת הארצית.
2. הרשת בקיבוץ מעלה גלבוע פותחה כחלק מפיילוט בשיתוף עם חברת החשמל לבחינת הממשק בין רשת חלוקה לבין רשת מקומית.

האתגרים העיקריים בהקמת רשת עצמאית בקבוצים הם:

1. **אתגר טכנולוגי** – הטכנולוגיה לניהול עצמאי של הרשת עדיין לא מפותחת במלואה, ולכן לא מובטחת אספקה רציפה של החשמל בחירום.
2. **הזרמת עודפים לרשת בשגרה** – הקמת הספק סולארי בהיקף שייתן מענה לשגרה מביאה לכך שהקיבוץ יזרים עודפים לרשת בשגרה, כאשר הרשת אינה פועלת במצב מבודד. לשם כך נדרש פיתוח של הרשת הארצית באופן שיאפשר קליטה של העודפים.
3. **היתרים להקמת אגירה** – קיים פטור מהיתר למתקני אגירה קטנים בלבד.

4. **היעדר תמריץ כלכלי להקמת מערכת לניהול אנרגיה** – למתקני הייצור והאגירה יש תמריץ כלכלי באמצעות תעריפים (למתקני מתח נמוך) ומודל שוק (למתקני מתח גבוה). לעומת זאת למערכת ניהול האנרגיה אין ערך כלכלי בשגרה, ואין הסדרים כלכליים שמתמרצים את ההשקעה וההקמה של מערכות אלו.
5. **שליטה של חברת החשמל במתקני ייצור במתח גבוה בתוך רשת המחלק** – הרגולציה כיום מחייבת התקנת אמצעי תקשורת לאמצעי ייצור ואגירה ברשת המחלק, על מנת לאפשר למחלק הדומיננטי (חברת החשמל) לשלוט באמצעים אלו. הקמת רשת עצמאית מחייבת תיאום של השליטה במתקנים.
6. **היעדר אסדרה לפריקת אנרגיה מרכב חשמלי V2G** – בקיבוצים רבים קיימים כלי רכב חשמליים ועמדות לטעינתם, אולם אין עדיין אסדרה לפריקת אנרגיה מכלי הרכב לרשת.

רשתות מקומיות מנוהלות בערים ובמושבים

רשת החלוקה בערים ובמושבים בישראל היא בבעלות חברת החשמל. ביישובים רבים מותקנות מערכות סולאריות לייצור חשמל, אולם בשונה מהקיבוצים, הייצור הסולארי מהווה בדרך כלל שיעור נמוך יחסית מהביקוש המקומי.

חברת החשמל נמצאת בתהליך מואץ לרכישת מערכת לניהול אנרגיה מבחורת DERMS (Distributed Energy Resources Management System). המערכת נועדה להתמודד עם הריבוי והמורכבות של אנרגיות מתחדשות ברשת, וצפויה להיכנס לשימוש בשנתיים-שלוש הקרובות. עם זאת המערכת לא נועדה לאפשר איים עצמאיים, והיא מהווה חלק מהרשת הארצית.

לצד זאת מקודמות במספר ערים בישראל מערכות "חשמל כשר", שיאפשרו ניתוק של הרשת בשבת או בחג ואספקת חשמל מקומית ממערכת אגירה. בתוך כך, חברת החשמל מקדמת בבני ברק הקמת מערכת אגירה עם אפשרות לניתוק של שכונה מהרשת בשבת כחלק מפתרון ל"חשמל כשר".²⁰

לפי החלטת הממשלה, רשות החשמל צפויה לפרסם אמות מידה שיאפשרו ניתוק של רשת מקומית, אך הן טרם פורסמו לשימוע ציבורי.

²⁰ החלטת ממשלה 490 מיום 7 במאי 2023 בנושא קידום אמינות אספקת החשמל במרחב האורבני באמצעות אגירה, שירותי חשמל כשר ותיקון החלטת ממשלה.

המלצות

רשתות מקומיות מנוהלות הן פתרון אפשרי לביטחון האנרגי של יישובי ספר, שכונות וקמפוסים בישראל. ההיתכנות של הקמת הרשתות השתפרה בשנים האחרונות לאור הפריסה הרחבה של מתקני אנרגיה מתחדשת ומתקני אגירה, והתפתחות מערכות לניהול אנרגיה.

נוסף על התועלות המקומיות, מיקרוגרידים גם עשויים לתרום לצמצום הצורך בפיתוח רשת ההולכה וכושר הייצור ברמת המשק.

לאור התועלות והחסמים שמופ, מומלץ לשקול:

- 1. ניתוח כמותי של התועלת המשקית** מהקמת רשתות מקומיות מנוהלות. הניתוח יהווה בסיס לקביעת מדיניות ממשלתית עבור מיקרוגרידים, ויאפשר לבסס את הצורך והכדאיות המשקית במתן תמריצים לתחום זה.
- 2. אסדרת הממשק בין חברת החשמל לבין מערכת הניהול המקומית בערים ובמושב** באמצעות אמות מידה ותעריפים שתקבע רשות החשמל. כך תישאר הרשת בבעלות חברת החשמל ותופעל על ידה. האסדרה תאפשר לחברת החשמל לנתק מושב או שכונה במקרה הצורך, ולספק את האנרגיה מאמצעי ייצור ואגירה מקומיים.
- 3. קידום טכנולוגיות לניהול רשתות מקומיות מנוהלות** – למשל באמצעות מענקים של המדען הראשי במשרד האנרגיה. בכלל זה מערכות לניהול רשת, מענה לבטיחות, מענה לייצוב המתח ועוד.
- 4. קידום פיילוטים לאומיים לרשתות מקומיות מנוהלות** – בשיתוף מנהל המערכת ורשות החשמל, שיבחנו מודלים טכנולוגיים ורגולטוריים לניהול גמישות, אגירה וביקוש בזמן אמת. פיילוטים אלו, בייחוד באזורים מרוחקים ובמרכזי חוסן קהילתיים, יספקו בסיס להפעלת רשתות מקומיות עצמאיות בעת חירום ולבניית רשת חשמל חכמה, גמישה ומבחרת בישראל.
- 5. סבסוד מערכות לניהול אנרגיה ביישובים שבהם קיים חשש לאי-אספקת חשמל בחירום**, בכפוף לבחינה כלכלית של חלופות להבטחת הביטחון האנרגטי ליישובי ספר: גנרטורים, הטמנת קווים, רשת עצמאית עם יכולת ייצור, אגירה וניהול מקומי.
- 6. אסדרת V2G** – אפשרות פריקת אנרגיה מסוללות של כלי רכב חשמליים לרשת, על מנת לספק מקור אנרגיה נוסף לרשת בחירום.
- 7. אסדרה של הזרמת עודפי אנרגיה לרשת בשגרה** – האסדרה תאפשר ליישובים להקים מתקני אנרגיה מתחדשת נוספים, על מנת לאפשר ייצור מספיק בהתאם לביקוש הצפוי בחירום.
- 8. עידוד השימוש בממירים חכמים המאפשרים הפעלה במנותק מהרשת בחירום (Grid Forming).**

9. מתן אפשרות לאזורים המחוברים יחד ברשת מקומית (כגון שכונות או ערים) לרכוש חשמל באופן מרוכז ממספק פרטי – יישום מודל Community Choice Aggregation שיאפשר רכישה מרוכזת, תוך מתן אפשרות לצרכנים יחידים לרכוש את האנרגיה בנפרד מהקהילה המקומית. יישום זה, יחד עם שילוב אמצעי אגירה ברשת המקומית, יאפשר ניהול יעיל יותר של העומסים והחלת עלות האנרגיה לצרכנים.