

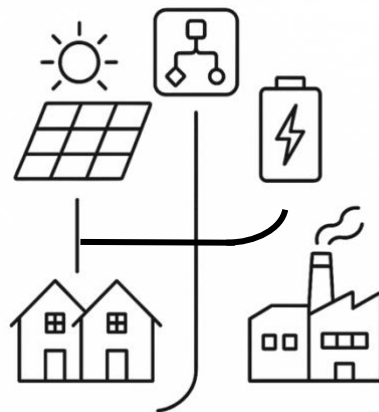


ביטחון אנרגטי מבוסס מיקרוגרید לישובים באזורי גבול

עבור צוות NZO במרכז השל לקיימות

ד"ר נורית גל, יערה בן-נחום, אלון סגל

יוני 2025



תקציר

המלחמה שפרצה בשביעי באוקטובר הדגישה את החשיבות של אמינות אספקת החשמל במצבי חירום לישובים באזורי גבול. לאור זאת, נשקלת כיום האפשרות להטמין את קווי הרשת המזינים את הישובים ולהתקין גנרטורים ומלאי סולר לחירום. ההתפתחות הטכנולוגית של יכולות ניהול רשת מקומית חכמה, לצד הירידה המהירה של מחירי האגירה והפאנלים הסולאריים מצביעים על האפשרות של מתן מענה לביטחון האנרגטי של הישובים באמצעות רשת עצמאית בשילוב אמצעי יצור ואגירה ("מיקרוגרید"). לבקשת NZO, בחנתי את המשמעות המעשית של פתרון מבוסס מיקרוגרید, בהשוואה לפתרון חלופי של הטמנת קווי הרשת בישובי הגבול. בפרט, בחנתי מהו היקף היצור הסולארי וקיבולת האגירה הנדרשים על מנת לתת מענה ליישוב אופייני, ומהו טיב המענה אותו ניתן להבטיח לישובים באופן זה.

הניתוח מתמקד בקיבוצים, משום שבהם הרשת המקומית מנוהלת באופן עצמאי לפי מתווה "מחלקים היסטוריים"¹, קיימים עבורם נתונים זמינים אודות הביקוש השעתי לחשמל ברשת המקומית והם מתאפיינים כבר היום בצריכה משמעותית מיצור סולארי המותקן בשטחם. המסמך מתייחס גם לאפשרות של יישום הפתרון בישובים בהם הרשת היא בבעלות חברת החשמל, כגון מושבים, ישובים קהילתיים או שכונות בערים.

שיטת הניתוח

הניתוח מתייחס למאפייני הביקוש של שני סוגי ישובים: ישוב בעל צריכה בינונית של כ- 4-7 מיליון קוט"ש בשנה, וישוב עתיר צריכה עם שימושים תעשייתיים משמעותיים של כ- 20 מיליון קוט"ש בשנה. בנספח מוצגת הערכה של התצורה הנדרשת לרשת עצמאית ביחס לטווח הביקוש האפשרי בישובים שונים.

עבודה זו בוחנת את המתווה הנדרש על מנת לספק מענה לביקוש של הישוב לאורך היממה בתרחיש של פגיעה באספקת החשמל מהרשת הארצית, באמצעות תוספת יצור סולארי ואגירה אשר ישולבו ברשת הישוב, בשילוב תשתית לניהול חכם של הרשת בחירום. שלבי הניתוח:

1. ניתוח פרופיל הביקוש של הישוב – פרופיל צריכה יומי אופייני בכל חודש בשנה
2. חישוב ההספק הסולארי הנדרש על מנת לתת מענה מלא לביקוש היומי הממוצע.

¹ רשות החשמל, החלטה 27201, מיום 11.8.2009 - "מתווה להסדרת פעילותם החוקית של מחלקי חשמל היסטוריים".

3. חישוב עודפי היצור הסולארי הצפויים בשעות הצהרים וניתוח קיבולת האגירה הנדרשת על מנת לטעון את עודפי הביקוש ולפרוק אותם בהדרגה לאחר שעות היצור הסולארי, משעות הערב ועד לשעות הבוקר למחרת.

מסקנות

קיבוצים רבים בישראל מתאפיינים כבר היום ביצור סולארי משמעותי, כך שבשעות הצהרים האנרגיה מסופקת בפועל מיצור סולארי, ובחלק מהמקרים מזרמים עודפי יצור סולארי לרשת.

לקיבוץ בעל צריכה בינונית (4-7 מיליון קוט"ש בשנה) ניתן לתת מענה לביקוש היומי באמצעות הספק סולארי מותקן של כ 2.5 – 3.5 מגוואט, בתוספת קיבולת אגירה של 5-7 מגוואט-שעה. מענה זה ייתן מענה מספק לביקוש בחודשי הקיץ המתאפיינים ביצור סולארי גבוה. בחודשי החורף - אשר מתאפיינים בביקוש גבוה לחימום בשעות הערב ויצור סולארי נמוך במהלך היום - יתקבל מענה חלקי בלבד, ויידרש תיעדוף של צרכנים.

לקיבוץ עתיר צריכה (20 מיליון קוט"ש בשנה) ניתן לתת מענה חלקי באמצעות הספק סולארי מותקן של כ 7 מגוואט וקיבולת אגירה של 10-12 מגוואט-שעה. מענה זה יחייב להפסיק חלק מהפעילות התעשייתית בחירום, על מנת שניתן יהיה לאגור חלק מהיצור בשעות הצהרים ולפרוק אותו לאורך הערב והלילה.

ההסדרות שקבעה רשות החשמל למתקני גגות במתח נמוך ולמתקני יצור ואגירה במתח גבוה מאפשרות כדאיות כלכלית להקמה של המתקנים בשגרה, תוך פריקה של האגירה בשעות הפסגה². בשגרה, צפויים עודפי קיבולת אגירה מעבר לביקוש של הישוב בפסגה, משום שקיבולת האגירה מתוכננת לחירום בהתאם לביקוש לאורך שעות הערב והלילה. ההסדרות מאפשרות למכור עודפים אלו בשגרה לחברת חשמל (למתקני מתח נמוך) או למספק פרטי (במתקני מתח גבוה).

שילוב רכיבי ניהול ותקשורת יאפשרו להשתמש באמצעי היצור והאגירה בחירום לאורך היממה. עלות רכיב הניהול והתקשורת³ (EMS) מוערכת בכ 0.5-1 מ"ש.ח. משיחות עם מומחים עולה כי מערכת הניהול והשליטה ברשת מבוססת על טכנולוגיה קיימת, אולם יישום המערכת עדיין מחייב פיתוח על מנת לתת מענה לאתגר של מעבר חלק ממצב מקוון בו הרשת המקומית מחוברת לרשת הארצית למצב מבודד בו הרשת המקומית פועלת באופן עצמאי. כמו כן נדרש מענה לייצוב המתח והעומס ברשת המקומית.

² זאת למעט מתקנים על גבי קרוי אשר עלות הקמתם גבוהה יותר ואיננה מאפשרת את החזר ההשקעה בתשואה נאותה.

³ EMS – Energy Management System

לשם השוואה, הפתרון של הטמנת קווי רשת לשם הבטחת אמינות האספקה בחירום הוא יקר משמעותית – כ- 16 מ"ח לקיבוץ - ואינו מעניק תועלת כלכלית ליישוב בשגרה. זאת ועוד, הטמנת קווי הרשת של הישוב איננה מבטיחה אמינות אספקה בתרחיש של פגיעה באספקת החשמל מהרשת הארצית, משום שהפתרון אינו כולל הרחבה של היצור מקומי. גנרטורים עשויים לאפשר אמינות אספקה בחירום בעלות נמוכה יחסית, אולם בשונה מאגירה הם אינם מקנים ערך כלכלי ליישובים בשגרה⁴, ואספקת החשמל מזהמת ומוגבלת למלאי הסולר הקיים בישוב.

ליישובים בהם הרשת היא בבעלות חברת החשמל ולא בבעלות מקומית – כגון מושבים, כפרים, יישובים קהילתיים, או שכונות בערים – נדרש להסדיר את הממשק עם חברת החשמל, כך שיתאפשר ניתוק של הרשת וצריכה ממתקני יצור ואגירה מקומיים בחירום. במקרים אלו, אמצעי היצור והאגירה שישולבו ברשת המקומית יהיו בבעלות פרטית, אולם הרשת ומערכת ניהול האנרגיה יוקמו ויופעלו על ידי חברת החשמל. כדי ליישם פתרון זה נדרש מקור תקציבי לכיסוי עלות מערכות הניהול ברשתות המקומיות והכנה של אמות מידה אשר יסדירו את הממשק בין חברת החשמל לבין אמצעי היצור והאגירה והצרכנים ברשת המקומית.

המלצות

לאור ממצאי העבודה, מוצע לעודד הקמת מיקרוגרید בישובי גבול. לשם כך:

1. **לשקול עידוד נוסף להקמת מתקני יצור על גבי קרוי** (כגון קרוי מגרשי ספורט וחניות) כדי לאפשר ליישובים יצור בהיקף הנדרש לביקוש המקומי תוך מיצוי מלוא פוטנציאל היצור בשטח הישוב, גם באמצעות מתקנים על גבי קרוי אשר מתאפיינים בכדאיות נמוכה יותר.
2. **לספק ליישובים מידע והדרכה** באשר לטכנולוגיות לניהול אמצעי היצור והאגירה ברשת המקומית, על מנת לאפשר מענה לחירום.
3. **לשקול מתן תמריץ כלכלי לשילוב מערכת לניהול עצמאי של הרשת בחירום (EMS)**, שכן להשקעה במערכת ניהול אנרגיה – בשונה מההשקעה במתקני היצור והאגירה – אין תועלת כלכלית בשגרה.
4. **להסדיר פתרונות להזרמת עודפי אנרגיה** אשר ייוצרו בשטח היישובים בשגרה לרשת חברת החשמל, על מנת לאפשר את חיבור המתקנים לרשת.

⁴ אמנם ניתן לקבל ערך כלכלי לגנרטור באמצעות השתתפות בהסדר השלה, אולם ההשלה עלולה לפגוע באמינות האספקה והפעלת הגנרטור מזהמת

5. לתת מענה להתאמות הנדרשות למושבים וישובים כפריים אחרים אשר בהם הרשת איננה מנוהלת על ידי הישוב לפי מתווה "מחלקים היסטוריים" אלא על ידי חברת החשמל. מוצע כי הרשת בישובים אלו תישאר בבעלות חברת החשמל, אולם תוסדר האפשרות לשלב ברשת מערכת לניהול אנרגיה שתאפשר ניהול פנימי של הרשת במקרה של תקלה/פגיעה ברשת הארצית. המשך המסמך מציג ניתוח מפורט של יצור ואגירה בקבוצת בעל צריכה בינונית (פרק א') ולקבוצת עתיר צריכה (פרק ב').⁵ פרק ג' מפרט השוואה של חלופת המיקרוגרید לחלופת הטמנת קווי הרשת בישוב ולחלופת הגנרטורים.

⁵ הניתוח מבוסס על נתוני אמת, אך מטעמי סודיות מסחרית לא מוצגים הפרטים המזהים של הקיבוצים.

תוכן העניינים

2	תקציר
7	פרק א' – ניתוח קיבוץ בעל צריכה בינונית
11	פרק ב' – ניתוח קיבוץ עתיר צריכה
15	פרק ג' – השוואת חלופות להבטחת הספקת החשמל ליישוב גבול
19	נספח – תצורה נדרשת לפי ביקוש שנתי

פרק א' – ניתוח קיבוץ בעל צריכה בינונית

פרק זה סוקר את מאפייני הביקוש והיצור כיום בקיבוץ בעל צריכה בינונית של כ 5 מיליון קוט"ש בשנה. חלקו הראשון של הפרק מציג את הצריכה הקיימת מיצור סולארי בקיבוץ. חלקו השני של הפרק סוקר את רמת המענה אשר ניתן להשיג בקיבוץ באמצעות תוספת יצור סולארי ואגירה.

מצב קיים

תרשים 1 מציג תצ"א של קיבוץ בעל צריכה בינונית. מהתצ"א ניתן לראות כי על גבי הגגות התעשייתיים בשטחו הדרומי של הקיבוץ מותקנים כיום פאנלים סולאריים. לפי [בסיס הנתונים של משרד האנרגיה](#) ההספק המותקן כיום בקיבוץ הוא 1340 קילוואט.

תרשים 1 – הספק סולארי מותקן



תרשים 2 מציג את פרופיל הביקוש של הקיבוץ מהרשת כיום, לאחר שחלק מהביקוש מסופק על-ידי היצור הסולארי בשטח הקיבוץ.

תרשים 3 מציג את פרופיל הביקוש המשוער של הקיבוץ בפועל, כולל הצריכה מהמתקנים הסולאריים ומהרשת. הפרופיל בפועל מחושב לפי סכום הביקוש מהרשת בתוספת היצור הסולארי המשוער בשטח הקיבוץ. היצור הסולארי מחושב לפי ההספק המותקן בקיבוץ ופרופיל הייצור הסולארי הממוצע בישראל.

מהתרשימים ניתן לראות כי בשעות היום הקיבוץ צורך את האנרגיה מהיצור הסולארי המותקן בשטח הקיבוץ ולכן אינו צורך אנרגיה מהרשת. הצריכה מהיצור הסולארי גבוהה יותר בחודשי הקיץ, בהן היצור הסולארי נפרס על פני שעות ארוכות ביום וסך היצור היומי עשוי להגיע לכ- 6.5 kWh/KWp ביום. זאת, לעומת חודשי החורף, בהם היצור הסולארי נפרס על פני שעות מעטות יותר ומצטבר לכ- 3 kWh/KWp ביום.

מתרשים 2 ניתן לראות כי פרופיל הביקוש המלא של הקיבוץ מתאפיין בצריכת בסיס של כ 300 קוט"ש בשעות הלילה ו- 600 קוט"ש בשעות היום. בחודשי הקיץ בצהרים הביקוש עשוי להגיע לכ- 1000 קוט"ש, ובחודשי החורף בערב עד כ 900 קוט"ש, ככל הנראה כתוצאה ממיזוג אוויר לקירור ולחימום בהתאמה.

טבלה 1 מסכמת את מאפייני הביקוש והיצור בקיבוץ כיום.

טבלה 1 – קיבוץ בעל צריכה בינונית – מצב קיים

4.6	ביקוש שנתי, כולל צריכה מיצור סולארי [מיליוני קוט"ש]
2.3	יצור סולארי שנתי [מיליוני קוט"ש]
1340	הספק סולארי מותקן [קילוואט]
50%	אחוז יצור סולארי מתוך הביקוש [שנתי]

תרשים 2 – קיבוץ בעל צריכה בינונית – ביקוש מהרשת כיום

ביקוש מהרשת כיום [קוט"ש ממוצע לפח חודש ושעה]													
חודש													
12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
319	245	268	345	410	374	336	260	267	422	406	454	0	
274	223	253	322	381	349	307	231	237	365	352	400	1	
259	214	233	298	357	324	289	217	216	327	326	374	2	
263	224	238	301	355	320	285	224	218	329	318	372	3	
303	257	258	313	363	347	318	260	243	370	367	411	4	
349	293	292	339	379	360	327	290	292	434	421	456	5	
372	259	283	319	324	277	228	211	254	440	486	538	6	
222	108	189	183	199	114	64	62	108	258	370	480	7	
52	26	33	17	45	15	12	4	11	76	129	232	8	
26	19	2	13	12	5	6	1	0	32	96	127	9	
23	12	8	4	2	1	1	0	0	24	81	103	10	
18	6	2	3	1	1	0	2	0	26	55	98	11	
34	12	0	1	1	0	1	1	0	20	66	113	12	
39	11	0	1	1	0	0	0	1	26	71	136	13	
45	24	2	1	1	0	0	0	0	34	69	153	14	
160	120	10	1	1	1	1	0	0	82	155	312	15	
415	342	58	14	4	1	0	6	5	238	348	611	16	
532	455	294	246	170	63	42	46	52	507	651	816	17	
566	476	429	466	457	361	316	250	291	738	786	901	18	
578	471	441	530	591	526	473	411	440	806	786	904	19	
568	448	417	506	601	567	520	436	449	809	786	885	20	
530	405	375	473	562	531	477	390	412	749	728	819	21	
472	358	351	443	526	485	438	351	361	659	628	723	22	
399	294	302	384	462	422	382	298	309	537	503	583	23	

תרשים 3 – קבוצת בעל צריכה בינונית – ביקוש בפועל כולל צריכה מסולארי – הערכה

ביקוש בפועל לפני צריכה מסולארי [קו"ש ממוצע לפי חודש ושעה]													שעה
חודש													
12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
319	245	268	345	410	374	336	260	267	422	406	454	0	
274	223	253	322	381	349	307	231	237	365	352	400	1	
259	214	233	298	357	324	289	217	216	327	326	374	2	
263	224	238	301	355	320	285	224	218	329	318	372	3	
303	257	258	313	363	347	318	260	243	370	367	411	4	
349	293	292	339	379	360	340	290	292	434	421	456	5	
372	259	283	371	429	408	424	329	319	453	486	538	6	
274	251	359	484	538	467	520	480	408	415	461	520	7	
287	379	438	565	633	655	704	670	533	481	429	453	8	
431	554	590	744	809	840	868	863	745	620	605	519	9	
545	638	739	853	929	954	980	966	875	781	733	599	10	
606	684	811	916	993	1006	1019	1033	927	822	773	686	11	
622	678	771	888	994	1005	1032	1006	940	855	732	727	12	
548	598	705	836	941	966	979	953	863	861	698	658	13	
423	468	590	693	836	875	875	862	744	726	604	570	14	
395	368	454	536	667	732	719	692	601	630	534	573	15	
454	407	293	315	461	523	522	476	384	538	531	689	16	
532	455	307	324	366	351	316	255	196	599	664	816	17	
566	476	429	466	457	426	381	263	291	738	786	901	18	
578	471	441	530	591	526	473	411	440	806	786	904	19	
568	448	417	506	601	567	520	436	449	809	786	885	20	
530	405	375	473	562	531	477	390	412	749	728	819	21	
472	358	351	443	526	485	438	351	361	659	628	723	22	
399	294	302	384	462	422	382	298	309	537	503	583	23	

רמת המענה באמצעות תוספת יצור סולארי ואגירה

תרשים 4 מציג את פוטנציאל היצור הסולארי בקיבוץ, לפי מפת פוטנציאל אנרגיה מתחדשת בשטחים הבנויים בישראל, אשר פרסם לאחרונה משרד האנרגיה. מהתרשים ניתן לראות כי נוסף להספק המותקן כיום על גבי הגגות התעשייתיים בדרום הקיבוץ, ישנו פוטנציאל נוסף באמצעות קרוי של מגרשי ספורט, בית עלמין ובריכת שחיה והקמת מתקנים על גבי גגות בתים פרטיים. ממפת הפוטנציאל עולה כי ניתן להוסיף הספק נוסף בסדר גודל דומה להספק הקיים.

תרשים 4 – פוטנציאל יצור סולארי בקיבוץ בעל צריכה בינונית



תוספת הספק סולארי ללא אגירה צפויה להביא להזרמת אנרגיה עודפת לרשת בשעות הצהריים, ללא מענה נוסף לצריכה בקיבוצ, משום שכבר כיום היצור הסולארי נותן מענה מלא לביקוש הקיבוצ בשעות היום, והצריכה מהרשת מתרחשת בשעות בהן אין יצור סולארי (תרשים 2).

לאור זאת, בחנו את המשמעות של תוספת יצור סולארי ואגירה. הממצאים מסוכמים בטבלה 2. מהטבלה ניתן לראות כי הביקוש היומי המצטבר הוא כ-14 מגוואט-שעה בחודשי החורף והקיץ, וכ-10-12 מגוואט-שעה ביתר החודשים.

עוד עולה מהטבלה כי תוספת של כ-800 קילוואט סולארי מעבר ל-1340 קילוואט שהותקנו עד היום, וכן תוספת של כ-5 MWh אגירה יתנו מענה ל-100% מהביקוש היומי של הקבוצ בחודשי הקיץ. בחודשי החורף היצור הסולארי נמוך משמעותית, ולכן תוספת ההספק תיתן מענה לכ-40%-60% מהביקוש היומי, ללא מענה מלא לצריכה בשעות הערב.

טבלה 2 – ביקוש, יצור סולארי ואגירה נדרשת לעצמאות אנרגטית – תוספת 600 KWp

חודש	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ביקוש יומי ממוצע MWh	14.6	13.7	14.3	11.3	12.2	13.5	13.8	14.0	12.2	10.2	9.6	10.4
יצור סולארי ממוצע כיום MWh	3.7	4.8	6.2	7.3	8.5	8.9	8.6	8.0	6.9	5.6	4.5	3.6
יצור סולארי ממוצע לאחר תוספת MWh	5.9	7.6	9.9	11.6	13.6	14.2	13.7	12.8	11.0	8.9	7.1	5.8
קיבולת אגירה נדרשת MWh	1.4	2.1	3.0	4.0	4.7	4.9	4.7	4.3	3.7	3.0	2.3	1.8

פרק ב' – ניתוח קיבוץ עתיר צריכה

פרק זה סוקר את מאפייני הביקוש והיצור כיום בקיבוץ בעל צריכה שנתית של כ 21 מיליון קוט"ש בשנה, הנחשבת לצריכה גבוה מאוד ביחס לקיבוצים (ראו נספח). חלקו הראשון של הפרק מציג את הצריכה הקיימת מיצור סולארי בקיבוץ. חלקו השני של הפרק סוקר את רמת המענה אשר ניתן להשיג בקיבוץ באמצעות תוספת יצור סולארי ואגירה.

מצב קיים

תרשים 5 מציג תצ"א של הקיבוץ. מהתצ"א ניתן לראות כי על גבי הגגות התעשייתיים בשטחו הדרום-מזרחי של הקיבוץ מותקנים כיום פאנלים סולאריים. לפי נתוני הקיבוץ ההספק המותקן עומד על 1800 קילוואט.

תרשים 5 – הספק סולארי מותקן – קיבוץ עתיר צריכה



תרשים 6 מציג את פרופיל הביקוש של הקיבוץ מהרשת כיום, לאחר שחלק מהביקוש מסופק ישירות על-ידי היצור הסולארי בשטח הקיבוץ.

תרשים 7 מציג את פרופיל הביקוש המשוער של הקיבוץ בפועל, כולל הצריכה מהמתקנים הסולאריים ומהרשת. הפרופיל בפועל מחושב לפי סכום הביקוש מהרשת בתוספת היצור הסולארי המשוער בשטח הקיבוץ. היצור הסולארי מחושב לפי ההספק המותקן בקיבוץ ופרופיל הייצור הסולארי הממוצע בישראל.

מהתרשימים ניתן לראות כי בשעות היום הקיבוץ צורך את האנרגיה מהיצור הסולארי המותקן בשטח הקיבוץ אולם לאור הביקוש הגבוה, הקיבוץ צורך מהרשת עוד כ 1.3 עד 2 מגוואט בשעות הצהריים. הצריכה מהיצור הסולארי גבוהה יותר בחודשי הקיץ, בהן היצור

הסולארי נפרס על פני שעות ארוכות ביום. כפי שראינו בפרק המתייחס לישוב קטן, סך היצור היומי עשוי להגיע לכ- 6.5 kWh/KWp ביום. לעומת חודשי החורף, בהם היצור הסולארי נפרס על פני שעות מעטות יותר ומצטבר לכ- 3 kWh/KWp ביום. מתרשים 7 ניתן לראות כי פרופיל הביקוש המלא של הקיבוץ מתאפיין בצריכת בסיס של כ 1500 קילוואט בשעות הלילה ו- 2700 קילוואט בשעות היום. בחודשי הקיץ בצהריים הביקוש עשוי להגיע לכ- 4000 קילוואט, ובחודשי החורף בערב עד כ 2400 קוט"ש, ככל הנראה כתוצאה ממזג אוויר לקירור ולחימום. טבלה 3 מסכמת את מאפייני הביקוש והיצור בקיבוץ כיום.

טבלה 3 – קיבוץ עתיר צריכה – מצב קיים

20.8	ביקוש שנתי, כולל צריכה מיצור סולארי [מיליוני קוט"ש]
3.1	יצור סולארי שנתי [מיליוני קוט"ש]
1820	הספק סולארי מותקן [קילוואט] DC
17%	אחוז יצור סולארי מתוך הביקוש [שנתי]

תרשים 6 – קיבוץ עתיר צריכה – ביקוש מהרשת כיום

חודש													
12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
1839	1785	1579	1962	2154	2226	2052	1998	1798	1792	1895	1949	0	שעה
1774	1736	1591	1915	2092	2165	2001	1943	1749	1726	1816	1861	1	
1742	1719	1550	1898	2073	2144	1965	1936	1735	1665	1802	1862	2	
1738	1733	1548	1873	2041	2129	1954	1931	1725	1731	1818	1874	3	
1802	1793	1575	1900	2073	2154	2018	2021	1821	1776	1859	1907	4	
2070	1984	1758	2173	2334	2311	2171	2098	1947	1988	2077	2101	5	
2254	2085	1876	2309	2425	2498	2301	2189	2024	2051	2256	2333	6	
2386	2113	1921	2430	2538	2653	2410	2204	2088	2103	2364	2534	7	
2196	1903	1730	2336	2524	2584	2344	2103	1958	1896	2218	2450	8	
2053	1785	1558	2201	2414	2453	2255	2038	1752	1708	1962	2298	9	
1830	1669	1326	2001	2221	2270	2060	1838	1597	1473	1812	2011	10	
1718	1534	1142	1887	2085	2197	1947	1695	1422	1354	1667	1855	11	
1732	1525	1041	1836	2067	2121	1883	1655	1334	1333	1652	1866	12	
1845	1638	1116	1884	2111	2179	1905	1677	1374	1395	1684	1956	13	
1926	1779	1202	1918	2117	2194	1907	1635	1335	1467	1774	2016	14	
2069	1997	1392	2004	2151	2222	1934	1713	1437	1653	1930	2182	15	
2257	2145	1648	2208	2322	2389	2080	1859	1649	1886	2181	2368	16	
2355	2165	1826	2389	2493	2524	2272	2069	1872	2101	2342	2471	17	
2317	2123	1811	2395	2538	2564	2364	2190	1982	2166	2342	2440	18	
2305	2090	1780	2383	2572	2628	2419	2270	2042	2152	2331	2425	19	
2256	2040	1764	2337	2559	2648	2439	2262	2007	2109	2311	2400	20	
2178	1985	1738	2271	2506	2586	2383	2202	1964	2055	2261	2328	21	
2063	1899	1685	2157	2383	2466	2292	2118	1907	1961	2125	2215	22	
1953	1819	1625	2057	2217	2326	2177	2032	1847	1877	1984	2090	23	

תרשים 7 – קבוצת עתיר צריכה – ביקוש בפועל כולל צריכה מסולארי

חודש												שנה
12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
1839	1785	1579	1962	2154	2226	2052	1998	1798	1792	1895	1949	0
1774	1736	1591	1915	2092	2165	2001	1943	1749	1726	1816	1861	1
1742	1719	1550	1898	2073	2144	1965	1936	1735	1665	1802	1862	2
1738	1733	1548	1873	2041	2129	1954	1931	1725	1731	1818	1874	3
1802	1793	1575	1900	2073	2154	2018	2021	1821	1776	1859	1907	4
2070	1984	1758	2173	2334	2311	2189	2098	1947	1988	2077	2101	5
2254	2085	1876	2380	2567	2675	2568	2349	2113	2068	2256	2333	6
2457	2308	2152	2838	3000	3133	3032	2772	2497	2316	2488	2587	7
2515	2382	2280	3082	3323	3454	3285	3008	2668	2446	2627	2752	8
2603	2513	2357	3195	3497	3589	3426	3209	2763	2507	2655	2830	9
2541	2521	2320	3154	3482	3566	3392	3151	2787	2503	2700	2685	10
2517	2458	2243	3130	3434	3564	3332	3098	2683	2437	2644	2654	11
2531	2430	2088	3043	3416	3488	3285	3022	2613	2469	2557	2701	12
2537	2437	2075	3020	3390	3492	3236	2973	2546	2531	2536	2666	13
2441	2383	2001	2859	3253	3383	3096	2807	2347	2408	2502	2584	14
2389	2335	1995	2732	3057	3216	2910	2654	2254	2399	2445	2537	15
2310	2234	1967	2617	2943	3099	2790	2498	2164	2295	2430	2474	16
2355	2165	1844	2496	2759	2915	2645	2353	2067	2225	2360	2471	17
2317	2123	1811	2395	2538	2652	2453	2208	1982	2166	2342	2440	18
2305	2090	1780	2383	2572	2628	2419	2270	2042	2152	2331	2425	19
2256	2040	1764	2337	2559	2648	2439	2262	2007	2109	2311	2400	20
2178	1985	1738	2271	2506	2586	2383	2202	1964	2055	2261	2328	21
2063	1899	1685	2157	2383	2466	2292	2118	1907	1961	2125	2215	22
1953	1819	1625	2057	2217	2326	2177	2032	1847	1877	1984	2090	23

רמת המענה באמצעות תוספת יצור סולארי ואגירה

תרשים 8 מציג את פוטנציאל היצור הסולארי בקיבוץ, לפי מפת פוטנציאל אנרגיה מתחדשת בשטחים הבנויים בישראל, אשר פרסם לאחרונה משרד האנרגיה. מהתרשים ניתן לראות כי נוסף להספק המותקן כיום על גבי הגגות התעשייתיים בדרום מזרח הקיבוץ, ישנו פוטנציאל נוסף באמצעות קרוי של מגרשי חניה, מגרשי ספורט, בריכת שחיה, והקמת מתקנים על גבי גגות בתים פרטיים. ממפת הפוטנציאל עולה כי ניתן להוסיף הספק נוסף בסדר גודל של ~5 מגוואט.

תרשים 8 – פוטנציאל יצור סולארי בקיבוץ עתיר צריכה



תוספת הספק סולארי של כ 2 מגוואט ללא אגירה צפויה לתת מענה לביקוש הנוסף של הקיבוץ מהרשת כיום בשעות שיא הביקוש. תוספת של 5 מגוואט תאפשר לטעון עודפי יצור בשעות הצהריים ולפרוק אותם בשעות הערב הלילה והבוקר, בהן אין יצור סולארי, על מנת לתת מענה לביקוש לאורך היממה.

טבלה 4 מציגה את המשמעות של תוספת הספק סולארי של 6.8 מגוואט מעבר ל 1.8 מגוואט המותקנים כיום בקיבוץ. לשם כך, יש צורך נוסף למתקני הגגות גם לקרות שטחים נוספים כגון בריכה, מגרשי ספורט, בית עלמין ומגרשי חניה.

מהטבלה עולה כי הביקוש היומי המצטבר הוא כ 50-55 MWh בעונת מעבר ובחורף, וכ- 60-65 MWh בחודשי הקיץ. תוספת של כ 6800 KWp תאפשר יצור יומי של 20 MWh ליום בחודשי החורף ו- 45 MWh ליום בחודשי הקיץ. תוספת היצור תחייב אגירה של כ 12 MWh לקליטת עודפי היצור בצהריים ופריקה לאחר שעות היצור הסולארי. מדיניות זו תיתן מענה לכ- 40% מהביקוש היומי בימי החורף וכ 75% מהביקוש היומי בימי הקיץ.

לחילופין, ניתן בחירום להפחית חלק מהביקוש המשקי/תעשייתי בקיבוץ ולהתקין אגירה בקיבולת של כ 24 MWh מדיניות זו תפנה עודפי יצור סולארי נוספים בשעות היום ולכן תאפשר לתת מענה לביקוש הבסיסי במהלך שעות הערב, הלילה והבוקר המוקדם בחודשי הקיץ. בחודשי החורף בהם היצור הסולארי נמוך יותר, מדיניות זו תיתן מענה רק לכ-50% מהביקוש הבסיסי של הקיבוץ.

טבלה 4 – ביקוש, יצור סולארי ואגירה נדרשת לעצמאות אנרגטית – תוספת 6800 KWp

חודש	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ביקוש יומי ממוצע MWh	56.7	54.8	51.6	52.0	58.9	63.3	68.0	65.7	59.9	45.2	51.0	53.5
יצור סולארי ממוצע כיום MWh	5.1	6.5	8.4	9.9	11.6	12.1	11.7	10.9	9.4	7.6	6.1	5.0
יצור סולארי ממוצע לאחר תוספת MWh	19.0	24.4	31.4	37.0	43.3	45.4	43.7	40.9	35.2	28.5	22.7	18.6
קיבולת אגירה נדרשת MWh	1.5	4.0	8.8	11.6	12.3	11.0	8.6	8.5	7.2	9.2	3.9	1.7

פרק ג' – השוואת חלופות להבטחת הספקת החשמל לישוב גבול

פרק זה מציג בחינה כלכלית של חלופות אפשריות לשיפור הבטחון האנרגטי של ישובי ספר:

1. הקמת מיקרוגרید מבוסס יצור סולארי ואגירה
2. הטמנת קווי הרשת המזינים את הישוב וקוויי הרשת הפרוסים בשטח הקיבוץ.
3. גנרטורים

מענה מבוסס מיקרוגרید

הקמת מיקרוגרید ברשת קיבוץ כוללת השקעה בשלושה מרכיבים עיקריים:

1. יצור סולארי נוסף מעבר ליצור הקיים
2. הקמת קיבולת אגירה
3. התקנת תשתית שליטה וניהול חכם של הרשת (EMS)⁶

תוספת יצור סולארי ואגירה

בישראל נקבעה בשנים האחרונות מדיניות לעידוד יצור מבחר ובהתאם לכך נקבעו הסדרות כלכליות לעידוד הקמת מתקני יצור ואגירה ברשת החלוקה:

1. הסדרה למתקני גגות בשילוב אגירה – [אמות מידה 175-176](#) מסדירות את התעריף שתשלם חברת החשמל ליצור במתקני גגות סולאריים עם וללא אגירה. ההסדרה עודכנה לאחרונה בינואר 2025, והיא קובעת תעריף למתקנים עד 630 קילוואט אשר ירשמו להסדרה עד 31.12.2026. ההסדרה כוללת תשלום נוסף עבור אנרגיה שתזרם בפסגה כתוצאה משילוב אגירה במתקן.
 2. מודל השוק למתקני יצור ואגירה ברשת החלוקה – [החלטה 63704 משנת 2022](#) הסדירה מודל שוק, אשר מאפשר למתקני יצור ואגירה במתח גבוה להתקשר בהסכם עם מספק חשמל פרטי למכירת האנרגיה. ההסדרה נותנת מענה למתקני אגירה עצמאיים ולמתקני אגירה בשילוב יצור סולארי.
- לאור הסדרות אלו, למתקני יצור ואגירה אשר יוקמו בקיבוץ במענה לביקוש בחירום יש כדאיות כלכלית אשר מאפשרת החזר של ההשקעה בתשואה נאותה בשגרה.
- עם זאת, במקרה בו תוספת ההספק מבוססת על קרוי מגרשי ספורט/ברכות שחיה/בתי עלמין עלות ההקמה גבוהה משמעותית וההסדרה התעריפית למתקני גגות איננה מספקת תשואה נאותה על ההשקעה.

⁶ EMS – Energy Management System

שליטה וניהול של הרשת

שימוש במתקני היצור והאגירה בשטח הקיבוץ בחירום מחייב בנוסף גם השקעה במערכת לניהול חכם של הרשת, על מנת לאגור את עודפי היצור בשעות היום ולפרוק את האנרגיה לאורך שעות הערב והלילה בהתאם לצרכי הישוב, למערכת יהיו ממשקי הפעלה לכל מערכות היצור והאגירה ברשת המקומית. בקבוצים המערכת תופעל על ידי מנהל רשת החלוקה המקומי. ביתר הישובים המערכת תופעל על ידי חברת החשמל. לפי חברות העוסקות בהקמת מערכות השליטה, עלות המערכת תלויה בהיקף מתקני היצור והאגירה המשולבים ברשת והיא עשויה לעלות 0.5-1 מ"ש"ח לישוב.

הטמנת קווי רשת המזינים את הישוב

לפי [פרסום רשות החשמל](#), עלות ההחלפה של רשת מתח גבוה עילית קיימת ברשת חדשה מוטמנת היא כ 1.6 מ"ש"ח לקילומטר. אורך הרשת אותה נדרש להטמין כדי להבטיח את ההספקה לקבוץ תלוי במרחק הישוב מתחנת המשנה וכן באורך הרשת הפנימית בקבוץ. מבחינה ראשונית עולה כי אורך הרשת הפנימית בקיבוץ היא כ 5 ק"מ, והמרחק האופייני לתחמ"ש הוא כ 5 ק"מ. מכאן שעלות ההטמנה היא כ 16 מ"ש"ח לישוב. בנוסף נדרש למגן את השנאי בנקודת החיבור של הקיבוץ לרשת חברת החשמל. עלות המיגון מוערכת בכ- 100 אש"ח. פתרון זה נותן מענה לפגיעה ברשת המקומית, אך אינו נותן מענה לאספקת חשמל מקומית במצב בו נפגע יצור החשמל מהרשת הארצית.

גנרטורים

עלות גנרטור היא כ 1 מ"ש"ח למגוואט. לפי מאפייני הצריכה שהוצגו לעיל, ידרשו לקיבוץ בעל צריכה בינונית שני גנרטורים בעלות של 2 מ"ש"ח. יתכן שקיבוץ עתיר צריכה יצטרך לעצור את השימושים התעשייתיים כדי לקבל מענה מהגנרטור ליתר הביקוש בקיבוץ. עלות היצור בסולר היא כ 1-2 ש"ח/קוט"ש. ראינו שהביקוש היומי המינימלי בקיבוץ בעל צריכה בינונית היא 4-8 מגוואט-שעה ליום. ובקיבוץ עתיר צריכה כ 7-14 מגוואט-שעה ליום. לאור זאת, עלות מלאי סולר לשבוע ימים היא כ 50-100 אש"ח לקבוץ בעל צריכה בינונית ו 100-200 אש"ח לקיבוץ עתיר צריכה. קיבוץ בו מותקן גנרטור יכול להשתתף בהסדר השלה מרצון, לפי אמת מידה 47א. הסדר זה מאפשר תשלום קבוע של 4 ש"ח/קוט"ש ל 60 שעות בשנה. קרי, הכנסה של כ- 240 אש"ח לגנרטור של 1 מגוואט. עם זאת, חלק מהקיבוצים אינם מעוניינים להשתתף בהסדר ההשלה באמצעות גנרטור משיקולים סביבתיים ומחשש לפגיעה באספקה לקיבוץ.

השוואת חלופות המענה

טבלה 5 משווה חלופות להבטחת אמינות האספקה לקיבוצים

טבלה 5 – השוואת חלופות לביטחון אנרגטי

גנרטורים	הטמנת קווי רשת	מיקרוגרید + סולארי ואגירה	
מענה אמין אך הקף המענה מוגבל להספק הגנרטורים	מענה לפגיעה ברשת המזינה את הקיבוץ	טיב המענה תלוי באיכות מערכת ניהול האנרגיה. יתכן מענה מלא לקבוץ בעל צריכה של 4-7 מיליון קוט"ש קיבוץ עתיר ביקוש יצטרך לצמצם חלק מהצריכה התעשייתית	טיב המענה
מוגבל בזמן למלאי הסולר בישוב	אין מענה לתרחיש של פגיעה בכושר היצור ברמה הארצית או במעלה הרשת	זמן לא מוגבל (גם אם לא באופן מלא) - הסוללות נטענות מהסולארי	משך הזמן לו ניתן מענה בתרחיש עלטה ארצי
~2	8-16	0.5 - 1	עלות עודפת להקמה [מש"ח]
יצור מזהם	צמצום השפעת הרשת על הסביבה	יצור נקי, סיוע לעמידה ביעדי הממשלה לאנרגיות מתחדשות	השפעה סביבתית
~חודשים	שנים	~שנה	משך זמן ליישום

לסיכום, ניתן לראות כי החלופה של הקמת מיקרוגרید מקומי המתבססת על יצור סולארי בדו-שימוש בתחומי הישוב, בתוספת אגירה ומערכת ניהול רשת, מציעה פתרון יעיל כלכלית אשר מאפשר הכנסה נוספת לישוב גם בשגרה. בנוסף, פתרון זה מאפשר הגדלה של יצור האנרגיות המתחדשות במקומות בהם קיימים חסמי רשת. לכן, מומלץ לתעדף תיקצוב פתרון זה על פני פתרונות אחרים.

בקיבוצים בהם שטח הגגות ופוטנציאל הקרוי אינו מאפשר להקים את ההספק הנדרש, הרשת העצמאית תיתן מענה חלקי לביקוש, ומנהל הרשת המקומית יידרש לנהל את הביקוש ולהשיל את הביקוש העודף.

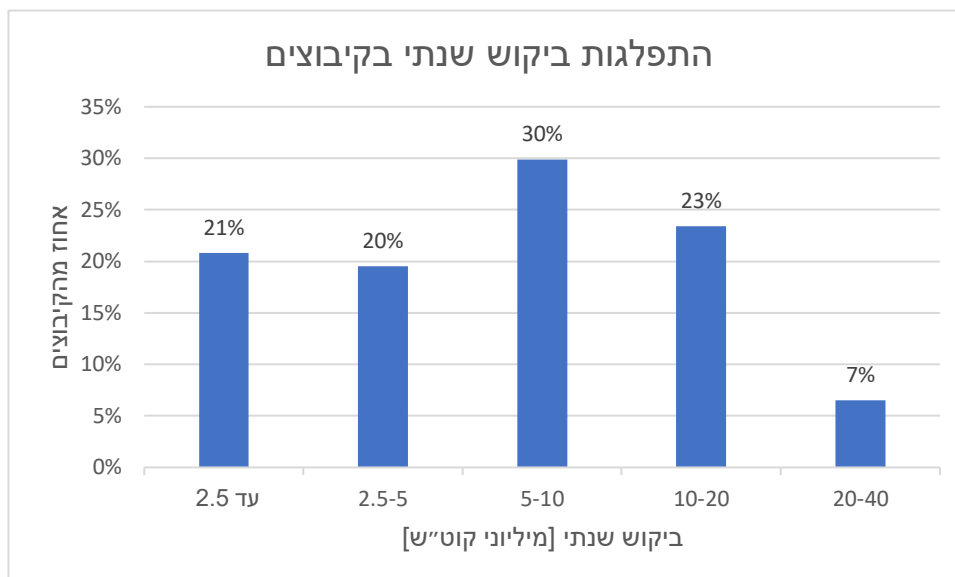
יישום הפתרון אפשרי גם במושבים, כפרים ושכונות בערים בהם הרשת היא בבעלות חברת החשמל ולא בבעלות מקומית. עם זאת, כדי לאפשר אפשרות של רשת עצמאית בחירום בישובים אלו, יש להכיר לחברת החשמל בעלות הנוספת של ניהול הרשת ולהסדיר את

הממשק בין חברת החשמל לבין מתקני היצור והאגירה המשולבים ברשת המקומית ובין חברת החשמל לבין הצרכנים המקומיים. כמו כן – יש לתכנן ביחס לכל ישוב את היקף אמצעי היצור והאגירה אשר ידרשו לישוב בחירום.

נספח – תצורה נדרשת לפי ביקוש שנתי

הקיבוצים בישראל מתאפיינים בטווח רחב של מאפייני צריכה: ממיליוני קוט"ש בודדים בשנה בקיבוץ קטן ועד לעשרות מיליוני קוט"ש בשנה בקיבוץ גדול. תרשים 9 מציג את ההתפלגות המשוערת של הביקוש לחשמל בקיבוצים. התרשים מבוסס על תשובות של 77 קיבוצים לסקר שנערך על ידי התנועה הקיבוצית. מהתרשים ניתן לראות כי בכ- 75% מהקיבוצים הביקוש נמוך מ 10 מיליון קוט"ש בשנה.

תרשים 9 – התפלגות הביקוש בקיבוצים



טבלה 6 מציגה הערכה של סך היצור הסולארי וקיבולת האגירה הנדרשים לקבוצ בכל קטגוריית גודל. כפי שהוסבר בפרקים הקודמים, המענה צפוי להיות חלקי (כ-40%) מהביקוש היומי בחודשי החורף, בהם הביקוש גבוה בשעות הערב, ואילו היצור הסולארי נמוך.

טבלה 6 – תצורה נדרשת לביטחון אנרגטי לפי ביקוש שנתי אופייני

תצורה נדרשת לרשת עצמאית		אחוז מהקיבוצים	ביקוש שנתי [מיליוני קוט"ש]
קיבולת אגירה MWh	הספק סולארי MW		
6	1.0	21%	עד 2.5
8	2.1	20%	2.5-5
15	2.7	30%	5-10
30	7.0	23%	10-20
60	14.5	7%	20-40

בשגרה, תצורה זו תביא לעודפי קיבולת בשעות הפסגה ביחס לביקוש של הקיבוץ, משום שהיא מיועדת לתת מענה לביקוש בחירום גם לאורך הלילה. עם זאת, בהינתן משאבי רשת

פנויים ניתן להזרים את האנרגיה בשגרה לרשת ולמכור אותה למספק פרטי, לפי הסדרת "מודל השוק".⁷

במקרה בו שטח הגגות ופוטנציאל הקרוי בשטח הקיבוץ אינם מאפשרים להקים את ההספק הנדרש, יתקבל מענה חלקי לביקוש גם בחודשי הקיץ ומנהל הרשת המקומית יידרש להשיל חלק מהביקוש על מנת לאזן את העומס.

⁷ רשות החשמל, החלטה 63704 מיום 7.9.2022