



חוסן באנרגיה במרכזי קליטה לשעת חירום

נוהל עבודה מומלץ לשימוש באנרגיה מקיימת





כתובה ועריכה

אדר' הדס קרן, מהנדס מייק גרין
משרד האנרגיה, אגף אנרגיה מקיימת: יניב גיאת, יצחק יוניסי, עירית הייטנר שעיו, אוריאל בבצ'יק
חברת אקוטריידרס בע"מ: ספיר בן חמו, עמרי פלג

צוות עבודה מורחב

משרד האנרגיה, אגף אנרגיה מקיימת:

אוריאל בבצ'יק – מנהל אגף אנרגיה מקיימת
יצחק יוניסי – מנהל תחום הנדסה
עירית הייטנר שעיו – מנהלת תחום הכשרה
וחינוך
אלעד כלפון – מנהל תחום מיזמים ופרויקטים
יניב גיאת – מרכז בכיר הנדסה רישוי ותקינה

משרד האנרגיה, יחידת המדען הראשי:

גדעון פרידמן – המדען הראשי (בפועל)
אלכסנדר קליינר – מנהל פרויקטים (לשעבר)

משרד האנרגיה, מערך חירום, ביטחון, מידע וסייבר:

תמיר שניידרמן – ראש מערך חירום ביטחון,
מידע וסייבר
עופר שושן – מנהל אגף א' הערכות לחירום

משרד האנרגיה, תכנון מדיניות ואסטרטגיה:

שחר דולב - מנהל תחום בכיר (פיתוח מודלים
ומדיניות)

מנהל החשמל:

אינג' איגור סטפנסקי – מנהל מינהל החשמל

רשות החשמל:

גל לבנט – יועץ לראש הרשות

משרד החינוך:

גנאדי קמנצקי, סגן מנהל מינהל הפיתוח ומנהל
אגף בכיר מיפוי ותכנון מוסדות חינוך (לשעבר).
סיגל ירמיהו, מנהלת תחום תכנון, אגף מיפוי
ותכנון

החברה למשק וכלכלה:

רוני קט, סגן מנהל תחום בינוי

משרד הבינוי והשיכון:

טלי הירש שרמן, מנהלת אגף תורת הבנייה
ופיתוח הנדסי (לשעבר)
איתי מולכו, מנהל תחום חשמל ותקשורת,
מינהל הנדסה וביצוע (לשעבר)

משרד הגנת הסביבה:

גלית כהן, סמנכ"לית בכירה תכנון, מדיניות
ואסטרטגיה (לשעבר, כיום מנכ"לית המשרד)
שולי נזר, סמנכ"לית בכירה לתעשיות
רן אברהם, ראש תחום בנייה ירוקה

יועצים חיצוניים:

עידית הוד, איכות סביבה וקיימות
דוד זיו, אגירת אנרגיה
נתן קלאורה, אגירת אנרגיה

תודות:

עיריית תל אביב יפו, על שיתוף במסמך הנחיות
לתכנון – הכנה למערכות פוטו-וולטאיות
במוסדות ציבור
דפנה רוזיק, מנהלת בית ספר אפק ולד"ר ישי
מור על יעוץ טכנו-פדגוגי
מרכז מינרבה לשלטון החוק במצבי קיצון,
אוניברסיטת חיפה, פרופ' דברה שמואלי וד"ר
מיכל בן-גל
אדר' תמר רוזנבלום-וורבורג על החזון
וההשראה



משרד האנרגיה מוביל בשנים האחרונות שיתוף פעולה עם רשויות מקומיות, מתוך הבנה שהרשויות ניצבות בחזית המאבק בשינוי האקלים ושהשלטון המקומי הוא שותף מרכזי להשגת היעדים הלאומיים של ייצור אנרגיה מתחדשת ואיפוס פליטות פחמן. במסגרת כך נכתב מדריך זה, שנועד להגביר את החוסן של הרשויות מול שינויים ומשברים כתוצאה משינויי אקלים, אסונות טבע, מתקפות טרור וסייבר והתפשטות מגפות.

מתקני קליטה לשעת חירום ברשויות מקומיות נועדו לתת סיוע ליחידים, משפחות וקהילות המתמודדים עם מצבי משבר, חירום ואסון. אחת הסכנות הצפויות לאוכלוסייה שפונתה ושוהה במתקן קליטה, היא היעדר אספקת אנרגיה לשירותים חיוניים בחירום כגון, מכשירים רפואיים, אמצעי תקשורת לשעת חירום ותאורה בסיסית.

מדריך זה יסייע לרשויות מקומיות לבסס את ייצור האנרגיה בשעת חירום במרכזי החוסן על אנרגיה מתחדשת ונקייה במקום על דלקים פוסיליים מזהמים ובכך לצמצם את פלטות גזי החממה וזיהום האוויר, ולהיערך כראוי לשעת חירום. ייצור האנרגיה המתחדשת ע"י פאנלים סולאריים ישלב סוללות לאגירת האנרגיה, יחד עם מערכת ניהול חכמה. מערכות אלו יהיו בעלות יכולת ייצור חשמל עצמאית המסוגלות לפעול בעת הצורך כמערכת אספקת חשמל אוטונומית, במנותק מרשת ההולכה הארצית.

המדריך כולל שלבי עבודה סדורים שיש לנקוט לשם שימוש באנרגיה מקיימת במתקני קליטה לשעת חירום, תוך התייחסות לנושאים אדריכליים, תפעוליים, הנדסיים ורגולטוריים שיש לפעול לאורם.

תודתי נתונה לעובדי אגף אנרגיה מקיימת במשרד האנרגיה אשר הובילו כתיבת מסמך זה.

אני מקווה שמדריך זה יסייע לבעלי העניין הרלוונטיים להיערך כראוי לחירום תוך עידוד ייצור אנרגיה מתחדשת ואגירת אנרגיה.

ליאור שילת

מנכ"ל משרד האנרגיה



| תוכן עניינים |

6.....	מבוא
9.....	רקע
13.....	פרק א': סקירה בינלאומית - מקרי בוחן
13.....	1. פלורידה – SunSmart E-Shelters Program
14	1.1 פעילות המרכזים בשגרה ובחירום
14	1.2 מבנה המערכת
14	1.3 סוגיות מימון
14	1.4 שימושים פדגוגיים
15.....	2. אוסטרליה – Community Bank Stadium hybrid bushfire relief centre
15	2.1 פעילות המרכז בשגרה והיערכות לחירום
15	2.2 מבנה המערכת
15	2.3 סוגיות מימון
16.....	3. ישראל – בדיקת היתכנות בבתי ספר בעיר חיפה כמרכזי חוסן באנרגיה לשעת חירום
16	3.1 פעילות המרכז בשגרה והיערכות לחירום
16	3.2 מבנה המערכת
17	3.3 סוגיות מימון
	פרק ב': נוהל עבודה מומלץ לתכנון והקמה של מרכזי חוסן באנרגיה במתקני קליטה לשעת חירום
18.....	חירום
19.....	1. הגדרת צרכי החירום של מתקן הקליטה
19.....	2. הגדרת צרכי אנרגיה ושירותים חיוניים שיופעלו בחירום
21.....	3. אמידת יכולת אספקת החשמל של המערכת הסולארית המתוכננת
23.....	4. קבלת החלטה אם תתכן הקמת מרכז חוסן באנרגיה במבנה
23.....	5. הגדרת הפרוגרמה
23	5.1 הגדרות למערכת החוסן באנרגיה
24	5.2 הגדרות למבנה בו יוקם מרכז החוסן באנרגיה
24.....	6. מימוש הפרוגרמה – תכנון ממשי של מרכז החוסן באנרגיה



24	6.1. מערך ייצור החשמל הסולארי
26	6.2. מערכת האגירה
31	6.3. התאמת תשתיות החשמל במבנה למערכת החוסן באנרגיה
34	6.4. עקרונות כלליים לתפעול מערכת החוסן
37	7. קביעת נהלים לשגרה ולחירום
37	7.1. הגדרת תרחישי החירום האפשריים וזמני ההתראה למעבר משגרה לחירום
38	7.2. בעלי תפקידים ותחומי אחריותם
39	7.3. פעולות שוטפות בשגרה כהיערכות לחירום
41	נספח 1 – הרשות לפס"ח
43	נספח 2 - תמצית הנחיות תכנון
47	נספח 3 – שימושים פדגוגיים במערכת החוסן

| מבוא |

החלטת ממשלה מספר 4877 (הגנ/9)¹ קבעה תכנית לפינוי המוני ומאורגן של אוכלוסייה בשל סיכון המאיים עליה, למשל בשל פעולות איבה במרכזי אוכלוסייה או בשל אירוע אסון המוני, ולקליטת האוכלוסייה המפונה במקומות מוסדרים מראש. התוכנית מיועדת לקליטת אוכלוסייה בהיקף של עד 300,000 איש.

חלק ניכר מהמתקנים אליהם נעשה הפינוי בשעת חירום הם מבנים או מוסדות ברשות המקומית. למשל, בתי ספר, מתנ"סים ומבנים של העירייה. מבנים אלה מוגדרים כמתקני קליטה מקומיים. אלו נפוצים יותר ממספר סיבות: ראשית, מוסדות אלו הינם בבעלות הרשות המקומית ולכן ניתנים להפעלה בכל זמן ובאופן מידי ללא צו וללא הסכם התקשרות (בשונה ממבנים שבבעלות פרטית). שנית, מבנים אלו לרוב ימצאו בקרבת מקומות בהם ריכוז האוכלוסייה גבוה, כגון במרכזי שכונות מגורים.

אחת הסכנות הצפויות במצב בו אוכלוסייה שפונתה שוהה במתקן קליטה, היא היעדר אספקת אנרגיה. סכנה זו עלולה להיגרם כתוצאה מפעילות חבלנית עוינת או ממפגע סביבתי משמעותי שיוצר שיבושים בתשתית החשמל הארצית. הסיכון המרכזי במצב זה הוא היעדר אספקת חשמל לשירותים חיוניים בחירום כגון, מכשירים רפואיים, אמצעי תקשורת לשעת חירום ותאורה בסיסית.

הגופים האמונים על היערכות מתקני הקליטה לשעת חירום, ובין השאר להיערכות למצבים של אי אספקת חשמל בחירום, הינם הרשות המקומית, במשותף עם הגופים הרלוונטיים ממשרד הפנים²:

- מינהל החירום של משרד הפנים, המסייע בתקציבים לרכש והצטיידות במשאבים חיוניים ברשות. לדוגמא, מכלי מים, גנרטורים וערכות תאורה³.

- רשות פינוי, סעד, חללים (להלן פס"ח), הינה רשות ייעודית אשר מנוהלת על ידי משרד הפנים ופועלת במסגרת משק לשעת חירום (להלן מל"ח)⁴. הרשות מופקדת על ארגון ותכנון של מקומות לקליטת אוכלוסייה מפונה, קליטת האוכלוסייה וטיפול בה ובחללים במלחמה ובמצבי חירום אחרים. ברשות לפס"ח מיוצגים גורמי חירום בממשלה, פיקוד העורף ומשטרת ישראל. הרשות פועלת כגוף מטה וביצוע במטה הראשי ובמחוזות והיא

¹ החלטת ממשלה 4877 הגנ/9, היערכות לקליטת 300 אלף מפונים - "מלון אורחים", 18.06.2012.
² היערכות ומוכנות הרשויות המקומיות לרעיזות אדמה, מאי 2017. עמוד 8, סעיף 1.2.2. משרד הפנים.
³ חירום וביטחון ברשויות המקומיות, משרד הפנים
⁴ נוהל מס' 1, הרשות העליונה לפס"ח - הרכב, תפקידים, שגרת פעילות והיערכות בשעת חירום



מסייעת לרשויות המקומיות להיערך לשעת חירום הן בהיבט ההצטיידות והן בהדרכת עובדי הרשות לפעולה בשעת חירום. לפירוט נוסף על מבנה הרשות ופועלה ראה 'נספח 1 – הרשות לפס"ח'.

בניסיון למזער או למנוע סיכונים אלו, מתקני הקליטה, ובכלל זה, הרשות המקומית והגופים הייעודים במשרד הפנים, נערכים לתרחיש בו נפסקת אספקת החשמל למבנה בשעת חירום, על ידי הכנת הציוד הדרוש למצבי חירום. בין אלו, תאורת חירום, פנסים ובמקרים מסוימים גנרטורים לגיבוי יכולת אספקת חשמל.

כמענה חליפי למערכת גיבוי המבוססת על דלקים פוסיליים ובמטרה לעודד ייצור אנרגיה מקיימת, משרד האנרגיה שואף לשלב במבנים המתפקדים כמתקני קליטה לשעת חירום מערכי חוסן באנרגיה, אשר מורכבים ממערכת ייצור חשמל מאנרגיה סולארית בשילוב סוללות לאגירת האנרגיה. מערכות אלו יהיו בעלות יכולת ייצור חשמל עצמאית המסוגלות לפעול בעת הצורך כמערכת אספקת חשמל אוטונומית, במנותק מרשת ההולכה הארצית.

מסמך זה מבוסס בחלקו על פרויקט לתכנון מרכז חוסן שבוצע במסגרת מחקר מטעם מרכז מינרבה לשלטון החוק במצבי קיצון, אוניברסיטת חיפה⁵, ושואב השראה מפרויקטים שנעשו במקומות אחרים בעולם. המסמך מכיל הסברים, דוגמאות, פירוט מרכיבים ועקרונות תכנון.

מטרת המסמך, להמליץ על שלבי עבודה סדורים לבחינה והקמה של מרכזי חוסן באנרגיה במתקני קליטה. לאור זאת, המסמך כולל את עיקרי השלבים והפעולות, שלראות עיניו של משרד האנרגיה, יש לנקוט לשם שימוש באנרגיה מקיימת במתקני קליטה לשעת חירום, תוך התייחסות לנושאים אדריכליים, תפעוליים, הנדסיים ורגולטוריים שיש לפעול לאורם.

העבודה מיועדת לכל מחזיקי העניין הרלוונטיים להקמת מרכזים אלו, במבנים המשמשים כמתקני קליטה לשעת חירום, בתוך אלו: רשויות הביטחון (ביניהן, הרשות לפס"ח, מינהל החירום של משרד הפנים ורשות החירום הלאומית של משרד הביטחון), אנשי משרד החינוך ומנהלות החינוך, רשויות מקומיות, קבטי"ם ורפרנטים העוסקים בהקמת תשתיות אנרגיה וחשמל, מתכנני המערכת, אדריכלים, מהנדסים ועוד. ההמלצות שיוצגו נכתבו בהלימה לדרישות וחוקים החלים בישראל ובפרט לחוק החשמל, תשי"ד-1954⁶ ותקנותיו. ההמלצות במסמך מהוות המלצות לתכנון ואינן מהוות תחליף לתכנון מפורט לביצוע. לצורך תכנון מפורט יש להיוועץ בבעלי הכשרה מתאימה.

⁵ מנגנונים וכלים למעורבות בעלי עניין ברשויות מקומיות: בהיערכות, מענה ושיקום אחרי רעידות אדמה, ממומן על-ידי משרד המדע וטכנולוגיה, 12.2016-11.2019, חוקרת ראשית דבורה שמואלי.

⁶ https://www.nevo.co.il/law/html/law01/999_468.htm

עוד יצוין כי מסמך זה מתמקד בהקמת מרכזי חוסן במתקני קליטה מקומיים, כפי שיפורט בהמשך, שכן מתקנים אלו נמצאים לרוב בזמינות גבוהה וממוקמים באזורי ריכוז אוכלוסין. אף על פי זאת, השלבים והפעולות להקמת מרכז חוסן צפויים להיות דומים גם עבור מתקנים שאינם מקומיים. על כן, ניתן לראותם כסנונית ראשונה וכפייילוט להנחיות לתכנון מערכות חוסן בקני מידה גדולים יותר. כמו כן, לכל פרויקט שייבחן יידרשו התאמות פרטניות בהתאם לסוג המבנה ומאפייניו.

רקע |

המודעות למושג "חוסן עירוני" מתפתחת בשנים האחרונות כתגובה לאירועי קיצון שהולכים ומתרבים. אלו מתייחסים לכל אירוע שנגרם כתוצאה משינויי אקלים, אסונות טבע, מתקפות טרור וסייבר והתפשטות מגפות.

הגדרתו הבסיסית של המושג "חוסן", על פי סוכנות האו"ם למניעת אסונות, הינה: "יכולת של מערכת, של קהילה או של חברה, החשופות לסכנה, להישאר עמידות, לספוג, להכיל ולהתאושש, במהירות וביעילות, בין היתר על ידי שימור ושיחזור המבנים הבסיסיים והתפקוד שלהם"⁷. בדומה להגדרה זו, המושג "חוסן עירוני", מוגדר כיכולתה של עיר להיערך לשינויים ולמשברים הפוקדים אותה במטרה למזער את הנזק, ואף למנוע אותו, באופן שמשפר את יכולתה להתאושש לאחר אירועי קיצון.

ליכולת התמודדות זו מספר ממדים: ממד פיזי, המתייחס להתאמת המרחב האורבני והמבנים המיועדים לקליטת האוכלוסייה המפונה בשעת חירום. זאת, החל מחיזוק תשתיות ומבנים ועד להקמת מערכות הגנה ואזורי חיץ; ממד חברתי, אשר שם דגש על חשיבות החוסן הקהילתי, מתוך הבנה כי היעדר השוויון המעמדי והכלכלי בין אוכלוסיות וקהילות, יתבטא גם ביכולתן להתאושש ממשברים; וממד פוליטי, אשר נוגע למסרים שמעבירים מנהיגים ומקבלי החלטות לציבור בנוגע לטיפולם באירועי הקיצון ובהתאוששות מהם⁸. **מסמך זה יתמקד בממד הפיזי, ובדגש על חיזוק חוסנם של המבנים המיועדים לקליטת אוכלוסייה לשעת חירום.**

נוסף על כך, רשת "100 ערי חוסן" (100 Resilient Cities) בחסות קרן רוקפלר, הגדירה חוסן כך: "היכולת של פרטים, קהילות, מוסדות, עסקים ומערכות שונות בעיר לשרוד, להסתגל ואפילו לצמוח ולשגשג מול הלחצים והזעזועים שפוקדים אותה"⁹. מתוך תפיסה זאת נשאף כי האלמנטים המספקים חוסן בחירום, יספקו יתרונות גם בשגרה.

העובדה שמדינת ישראל ממוקמת באזור החשוף למפגעי שינויי אקלים (hotspot), לצד המורכבות הביטחונית באזור, חושפת אותה לאיומים שונים כגון התקפות סייבר, מעשי טרור, הצפות, גלי חום

⁷ https://www.preventionweb.net/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf

⁸ <https://www.stlanguage.com/%d7%97%d7%95%d7%a1%d7%9f-%d7%a2%d7%99%d7%a8%d7%95%d7%a0%d7%99/>

⁹ <https://www.tel-aviv.gov.il/Residents/Development/DocLib1/%D7%9E%D7%A1%D7%9E%D7%9A%20%D7%97%D7%96%D7%95%D7%9F%20%D7%94%D7%A2%D7%99%D7%A8-%202017.pdf>

קיצוני ובצורות. לא זאת בלבד, בשל הסמיכות לשבר הסורי אפריקאי, אזורים רבים במדינת ישראל חשופים לרעידות אדמה.

לאור אלו, בתחילת שנות ה-60, קבעה ממשלת ישראל על הקמת הרשות לפס"ח (פינוי, סעד, חללים) של משרד הפנים, אשר הינה רשות ייעודית הפועלת בשעת חירום במסגרת "משק לשעת חירום" (להלן: מל"ח) ואמונה על הטיפול בפינוי וסעד באוכלוסייה מפונה, בנפגעי הפגזה והפצצה ובחללים.

ועדת פס"ח מקומית, במשותף עם הרשות המקומית, אמונות על הגדרת מבנים, בגבולות הפיזיים של הרשות, שיתפקדו כמתקני קליטה בשעת חירום (לפירוט נוסף על מבנה ועדת פס"ח, פעולותיה ותחומי אחריותה בשגרה ובחירום, ראה נספח א). אלו נחלקים לשניים: מתקני קליטה מקומיים, בתוך כך, בתי ספר, מתנ"סים ומבני ציבור ומתקני קליטה ארציים כגון, בתי מלון, אכסניות נוער, פנימיות וישיבות.

לפי הגדרת פס"ח: "מתקן קליטה מקומי הינו מתקן בעל זמינות גבוהה ללא תשתית לינה, הנמצא בבעלות הרשות המקומית, העומד בהנחיות המיגון של פיקוד העורף (להלן פקע"ר) ומאפשר קליטת מפונים למשך כל תקופת החירום". על כן, בשל זמינותם ותפוצתם הרחבה של בתי ספר בשכונות ומוקדי אוכלוסייה ברשויות המקומיות, חלק ניכר ממתקני הקליטה בישראל, ובעולם בכלל, מוקמים בבתי ספר.

כחלק מתהליך הכשרת מבנה לתפקד כמתקן קליטה לשעת חירום, מוגדרים תחילה מאפייניו לשעת חירום, לרבות כמות האוכלוסייה שהמתקן נערך לקלוט בשעת חירום, משך הזמן אליו נערך לקליטת המפונים, השירותים והצרכים החיוניים שיספק בחירום ובעלי תפקידים עיקריים שאמונים על פעילות המתקן בחירום.

אחת הסכנות הצפויות במצבי חירום בהם האוכלוסייה מפונה למתקני קליטה היא הפסקות חשמל ממושכות שקוטעות או מונעות את פעילותם של שירותים חיוניים במתקן. אלו יכולות להיות, מערכים לקירור תרופות ומזון לתינוקות, מערכות תאורה לשעות הלילה, שקעים לטעינת מכשירים סולריים, מכשירים רפואיים תומכי חיים ומערכות תקשורת לשעת חירום.

אחת הדרכים להיערכות מערך האנרגיה של המתקן לחירום, היא שימוש באנרגיה מקיימת באמצעות הקמת מערכת חוסן באנרגיה: מערכת לייצור חשמל מאנרגיה סולארית בשילוב סוללות לאגירת האנרגיה, אשר בשגרה תספק אנרגיה לשימוש עצמי ותעביר את עודפי הייצור לרשת הארצית בהתאם לאסדרות הקיימות ולפי הנחיות רשות החשמל. בזמן חירום, ובמקרה של אי אספקת חשמל

מהרשת, תוכל המערכת להתנתק מהרשת ולספק אנרגיה למבנה במעגל סגור באמצעות מערכת האגירה ולתפקד כ"אי של אנרגיה".

לאור זאת, גובש מסמך זה אשר מציג פתרון ליצירת "איים של אנרגיה", דהיינו, מרכזי חוסן באנרגיה, שיבטיחו אספקת אנרגיה ורציפות תפקודית של שירותים קריטיים בחירום, על-ידי שימוש באנרגיה סולארית לייצור חשמל בשילוב מערכת לאגירת אנרגיה.

המודל המוצע במסמך זה, שואב השראה ממרכזי חוסן באנרגיה דומים שהוקמו ברחבי העולם, במרבית המקרים, להתמודדות עם אסונות טבע, כפי שאלו יוצגו בהרחבה בפרק "סקירה בינלאומית".

כמו כן, מלבד לתרומתם המרכזית של מערכי החוסן באנרגיה באספקת אנרגיה בשעת חירום, להקמת מערכות אלו תועלות נוספות, כגון:

- תרומה לעמידה ביעדים הלאומיים שנקבעו: מדיניות שר האנרגיה להפסקת השימוש בפחם¹⁰, לצד יעדי משק החשמל להעלאת שיעור הייצור ממקורות אנרגיה מתחדשים ל-30% מתמהיל הייצור לשנת 2030¹¹, תלויים בקיומם של מספר תנאים הכרחיים. האחד, ייצור חשמל ממקורות אנרגיה מתחדשים. השני, קידום והאצה של פתרונות אגירת אנרגיה, בפרט אגירה מקומית באזורים אורבניים. קידום מערכות לאגירת אנרגיה משולבות עם ייצור חשמל מאנרגיה סולארית, יקדם את המשק לעמידה ביעדים הלאומיים שנקבעו.
- צמצום פליטות מזהמי אוויר וגזי חממה: הגדלת שיעור ייצור החשמל מאנרגיה סולארית במבנים נוספים תסייע לצמצום זיהום אוויר ופליטות גזי חממה שהיו נגרמות באם ייצור החשמל היה נעשה בתחנות הייצור הקונבנציונאליות, וכיוצא בזה, למזעור ההשפעות הבריאותיות והסביבתיות השליליות שנגרמות כתוצאה מפליטות המזהמים לאוויר.
- הסטת ביקושים: לפעילות מערך האגירה בשגרה, פוטנציאל למיתון צריכת החשמל בשעות השיא והסטתה לשעות בהן הביקוש לחשמל פחות. להסטת הביקוש חשיבות רבה ברמת ניהול משק החשמל, שכן בטווח הקצר הפחתה בצריכת החשמל בשעות השיא מאפשרת למנהל המערכת גמישות ויכולת הפעלת תחנות כוח יעילות יותר. בכך מסייעת להוזיל את עלויות ייצור החשמל. בטווח הארוך, קיטום שיאי הצריכה עשוי למנוע הקמה של תחנות כוח חדשות, וכיוצא בכך למנוע את ההשקעה ההונית בהן ואת עלות תחזוקתן. הסיבה לכך היא

¹⁰ הפסקת השימוש בפחם במשק החשמל בישראל, נובמבר 2019.

¹¹ הגדלת יעדי ייצור החשמל באנרגיות מתחדשות לשנת 2030, יוני 2020.



שכיום מתוכננת יתירות בהספק ייצור החשמל המשקי, אשר אינה מנוצלת לאורך מרבית

שעות השנה ומטרתה להבטיח אספקת חשמל רציפה גם בשעות שיא צריכה רגעיות;

• חסכון בהוצאות השוטפות בגין צריכת החשמל של המבנים בהם יוקם מערך החוסן, וכיוצא

בזאת, בהוצאות השוטפות של הרשות המקומית ומוסדותיה;

• פוטנציאל להעלאת המודעות והחינוך לנושאי אנרגיה, סביבה והיערכות לחירום: כיוון שעיקר

מתקני הקליטה בארץ ממוקמים בבתי ספר, משרד האנרגיה מזהה בכך פוטנציאל רב

להעלאת המודעות והעמקת הלמידה בנושאי סביבה ואנרגיה בבתי הספר. זאת, יתאפשר

על ידי שילוב נושאים אלו בתכנית הלימודים השנתית של בית הספר, בהדרכות שנתיות,

תכניות לימוד להיכרות עם מערך האנרגיה במבנה, שילוב למידה על מדע הנתונים

באמצעות חשיפת התלמידים למאגרי הנתונים של מערכת החוסן והשימושים בהם וכן כל

פעילות חינוכית נוספת לפי ראות עיניו של סגל ההוראה בבית הספר.

פרק א': סקירה בינלאומית - מקרי בוחן |

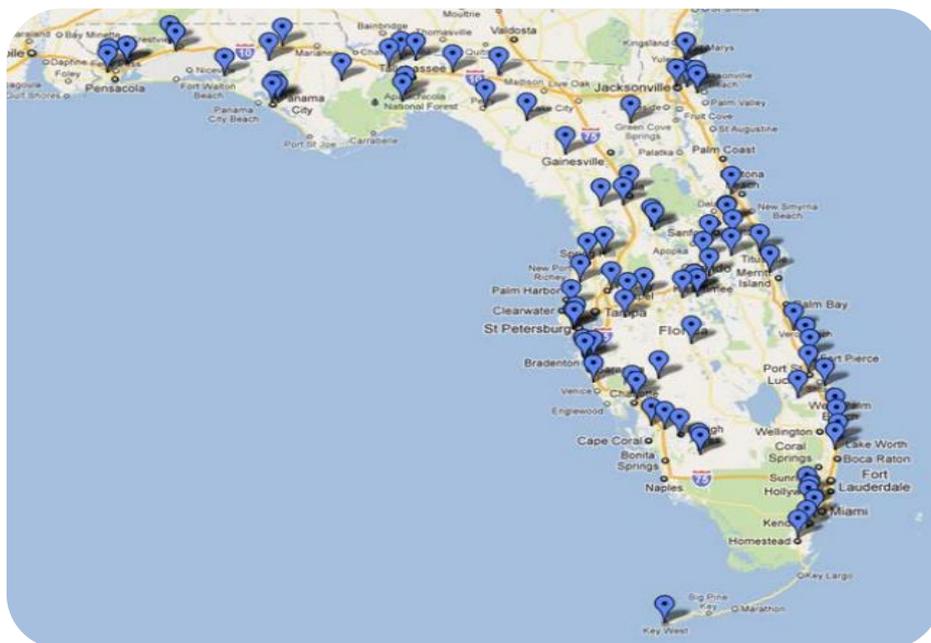
במדינות בעולם הוקמו מרכזי חוסן באנרגיה במטרה לספק מענה מקיים ליכולת אספקת חשמל בעת אירועי קיצון ומשברים הפוקדים אותן. זאת, לצד רתימת התועלות הגלומות בהם, בעת שגרה.

בפרק זה, תוצג סקירה של מרכזי חוסן לשעת חירום שהוקמו בעולם, מאפייניהם והשימוש שנעשה בהם בשגרה ובחירום. זאת, במטרה ללמוד ולשאוב השראה ממערכות אלו, ולזקק את התובנות העיקריות שניתן יהיה לאמץ לצרכי החירום של ישראל בהקשר זה.

1. פלורידה – ¹²SunSmart E-Shelters Program

במדינת פלורידה בארה"ב, הוקם ב-2012 מערך של מעל 100 מרכזי חוסן באנרגיה בבתי ספר ציבוריים ביישובי חוף החשופים להוריקנים, אשר משלבים מערכות סולאריות בקנה מידה קטן וסוללות אגירה. מערכות אלו מסוגלות לספק חשמל באופן עצמאי לשירותים שונים במבנה גם בעת הפרעות ברשת החשמל ובכך, לשמש מקום מקלט, עצמאי באנרגיה, למרכזי אוכלוסייה ברחבי המדינה. כל אחד מן המרכזים שהוקמו מיועד לספק שירותים בחירום ל-100 עד 500 אנשים. באיור 1 מוצגת הפריסה הארצית של בתי הספר שהוקמו בהם מרכזי חוסן באנרגיה בפלורידה.

איור 1 - פריסת מרכזי חוסן באנרגיה במדינת פלורידה



¹² <https://www.cleangroup.org/ceg-projects/resilient-power-project/featured-installations/sunsmart-emergency-shelters-program/>

1.1 פעילות המרכזים בשגרה ובחירום

בזמן שגרה, המערכות הסולאריות מייצרות חשמל ושומרות על הסוללה טעונה במלואה בכל רגע נתון. שאר החשמל שמיוצר מוזרם ישירות לרשת החשמל. בשעת חירום כשמתרחשת הפסקת חשמל, המערכת מספקת חשמל לעומסי חירום אשר הוגדרו מראש כחיוניים ביניהם, מערכות תאורה ושקעי חשמל לטעינה ולתקשורת. על מנת להנגיש את השימושים הנ"ל לשוהים במתקן בזמן חירום, כלל השקעים והמתגים שהוגדרו כעומסי חירום מלווים בהסבר לצידם, בו מצוין כי הם ניתנים להפעלה גם במקרה של הפסקת חשמל.

המרכזים הוכיחו את יעילותם כאשר פלורידה נפגעה מהוריקן אירמה בשנת 2017. במהלך הסערה, כשליש מבתי הספר נפתחו לקליטת אוכלוסייה וסיפקו באופן רציף שירותים לקהילה בשעת חירום באמצעות מערכות אגירת האנרגיה (שני השלישים הנוותרים לא נדרשו לפתוח שעריהן לקליטת אוכלוסייה מפונה, או לחילופין, נפתחו אך לא היה צורך בשימוש במערכות האגירה שבהם).

1.2 מבנה המערכת

בכל אחד ממרכזי החוסן שהוקמו בבתי הספר, הוקמה מערכת סולארית בקנה מידה קטן אשר משלבת מערכת לאגירת אנרגיה. מערכת אופיינית בנויה ממערכת פאנלים סולאריים בהספק של 10kW וסוללת אגירה בקיבולת של 48kWh.

1.3 סוגיות מימון

עלויות ההקמה של המערכת נעו בין 240-300 אלף ש"ח למערכת¹³. המרכזים הוקמו במימון הממשלה הפדרלית, תחת תכנית ה-American Recovery and Reinvestment Act (ARRA), אשר כספיה מיועדים להשקעה בתשתיות במדינה, בחינוך ובאנרגיות מתחדשות. גורם משמעותי להצלחתו של הפרויקט היה שיתוף פעולה רב מערכתי של משרדי ממשלה, מדינת פלורידה, גופי מחקר ואוניברסיטת פלורידה, ארגונים בתעשייה וספקי אנרגיה.

1.4 שימושים פדגוגיים

שילוב מערכות הייצור הסולארי והאגירה בבתי הספר עוזד רבים מהם לשלב למידה על מערכות אלו בתכנית הלימודים השנתית. מעל ל-300 מורים בבתי הספר הפזורים ברחבי המדינה, עברו הכשרה מקצועית במהלכה למדו על מערכת הייצור הסולארי ואגירת האנרגיה, והרכיבו פעילות חינוכית אשר משלבת את החומר המקצועי בתכנית הלימודים. הפעילות החינוכית פותחה גם היא על ידי ה-SunSmart E-Shelters Program ומשלבת בתוכה היבטים מדעיים, טכנולוגיים,

¹³ עלויות ההקמה במקור הן בין 74,000 דולר ל-90,000 דולר. ההמרה נעשתה לפי שער הדולר היציג של בנק ישראל ליום 27.10.2021 אשר עמד על 3.201 ש"ח.

הנדסיים וחישוביים. זאת, נעשה על ידי חלוקת ערכות מעבדה לתלמידים והקמת אתר אינטרנט בו יכולים התלמידים לצפות בתפוקת המערכת הסולארית שבבית הספר בכל רגע נתון. כתוצאה, מעל ל-50,000 תלמידים לקחו חלק בפעילות החינוכית הנ"ל ונחשפו לנושאי אנרגיה מתחדשת, ובפרט, לטכנולוגית אנרגיה סולארית, לאופן בו היא פועלת ולקשר בין ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת לסביבה.

2. אוסטרליה – Community Bank Stadium hybrid bushfire relief 14centre

כתגובה לשריפות ענק המתרחבות באוסטרליה, הוקם ב-2019 בעיר Nillumbik מרכז לקליטת תושבים ובו מערכות ייצור אנרגיה סולארית וסוללות לאגירת האנרגיה. המרכז הוקם באצטדיון שממוקם במרחק של כ-25 ק"מ ממרכז מלבורן. מרכז הקליטה מתופעל על ידי הרשות הממשלתית Nillumbik Shire Council. מלבד ייעודו המרכזי לספק מענה לאוכלוסייה שפונתה מביתה כתוצאה משריפות ענק, המרכז מיועד לקזז כ-75% מעומסי האנרגיה באצטדיון, באמצעות אנרגיה מקיימת. על ידי אלו, ישמש כפיילוט לפרויקטים דומים נוספים שיקומו. מלבד זאת, המרכז מספק בשגרה מערך טעינה ציבורי לכלי רכב חשמליים.

2.1 פעילות המרכז בשגרה והיערכות לחירום

בזמן שגרה, במהלך רוב ימות השנה, הסוללות פורקות את האנרגיה האגורה בהן בשעות הערב, על מנת לספק חשמל להפעלת השירותים השונים שיש במרכז (אולמות ספורט וחדר כושר). במהלך החודשים בהם הסבירות להתלקחות שריפות גבוהה מהרגיל, המערכת מתוכננת לשמור על הסוללות אגורות במלואן במהלך כל שעות היום.

2.2 מבנה המערכת

למערכת שהוקמה פוטנציאל לספק כמות משמעותית של חשמל בזמן חירום: היא כוללת מערכת פאנלים סולאריים בהספק של 100kW ומערכת סוללות אגירה (מסוג ליתיום יון) בקיבולת כוללת של 100kWh.

2.3 סוגיות מימון

עלות ההקמה הכוללת של המרכז הינה כ-130 מיליון ש"ח¹⁴. מעל ל-50% מעלויות ההקמה של המתקן, כ-64 מיליון ש"ח מומנו על ידי הקרן New Energy Jobs של ממשלת אוסטרליה ושארית העלות מומנה מכספי הרשות.

¹⁴ <http://storage.rdbk.com.au.s3-ap-southeast-2.amazonaws.com/events/REED/2019-All-Energy/GOVERNMENT%20INITIATIVES/Wed%20101%201340%20lan%20Foster.pdf>

¹⁵ העלות שמומנה הינה 20 מיליון דולר. ההמרה נעשתה לפי שער הדולר היציג של בנק ישראל ליום 27.10.2021 אשר עמד על 3.201 ש"ח.

3. ישראל – בדיקת היתכנות בבתי ספר בעיר חיפה כמרכזי חוסן באנרגיה לשעת חירום¹⁶

רעידת אדמה חזקה בישראל היא בלתי נמנעת וללא היערכות מתאימה עלולה לגרום לפגיעה נרחבת בנפש, בגוף, ברכוש ובתפקוד הכלכלי-חברתי המשקי לאורך תקופה ממושכת. אחד התפקידים של המדינה הוא לנסות למזער את הסיכונים הכרוכים באסונות טבע, ובכלל זה, ברעידות אדמה, באמצעות חקיקה, רגולציה ונקיטה בכלי מדיניות.

במסגרת פרויקט מחקר מטעם מרכז מינרבה לשלטון החוק במצבי קיצון שבאוניברסיטת חיפה, נעשתה בחינה שמטרתה לזהות, למפות ולהמשיג את המסגרת הרגולטיבית של היערכות ישראל לרעידות אדמה ולהעריך אותה תוך התייחסות לרגולציה הקיימת.

כחלק ממחקר זה, נערכה בדיקת היתכנות לפרויקט המשלב ייצור אנרגיה סולארית ואגירתה בבתי ספר המיועדים לשמש כמרכזי קליטה לאוכלוסייה בזמן חירום, בין אם נגרם כתוצאה מאירוע ביטחוני או מאסון טבע כגון רעידת אדמה. במהלך הבדיקה, תוכננה מערכת חוסן באנרגיה עבור בית ספר יסודי שממוקם במבנה חדש, אשר עומד בתקנים הנוכחיים לעמידה בפני רעידות אדמה ומתוכנן לשמש כמרכז קליטה במצב חירום. כמו כן, הקמת המערכת טרם יצאה אל הפועל¹⁷.

3.1 פעילות המרכז בשגרה והיערכות לחירום

במצב שגרה, המערכת תזרים חשמל לצריכה עצמית בבית הספר או לרשת החשמל הארצית בהתאם לתעריפי האסדרה שנקבעו. בשעת חירום, במקרה של הפסקת חשמל, המערכת תתנתק מרשת החשמל ותופסק זרימת האנרגיה לרשת. על ידי שימוש בממיר היברידי ומפסק חירום, המבנה יהפוך ליחידת ייצור חשמל אוטונומית.

3.2 מבנה המערכת

גודל והספק המערכת תוכננו לספק מענה בתרחיש קיצון בו תידרש המערכת לספק חשמל למשך שלושה ימי חורף רצופים בהם יכולת ייצור החשמל מאנרגיית השמש מוגבלת. בהתאם לזאת, המערכת המתוכננת כוללת פאנלים סולאריים בהספק של 50kW על גגות המבנה וסוללת אגירה בקיבולת אגירה של 200kWh.

¹⁶ הערכת המערך הרגולטורי להתמודדות עם רעידות אדמה בישראל, דברה שמואלי, ערן פייטלסון, אמנון רייכמן, מיכל בן גל, אהוד סגל, גד ברזילי ועלי זלצברג.

¹⁷ מנגנונים וכלים למעורבות בעלי עניין ברשויות מקומיות: בהיערכות, מענה ושיקום אחרי רעידות אדמה, ממומן על-ידי משרד המדע וטכנולוגיה, 12.2016-11.2019, חוקרת ראשית דבורה שמואלי

3.3. סוגיות מימון

העלות הכוללת למערכת החוסן שתוכננה הוערכה ב- 830 אלש"ח. ברקע להערכה זו, הונח כי הקמת המערכת נעשית לאחר שכבר הוקמה מערכת סולארית על גגות בית הספר אשר מתאימה לדרישות החירום של המרכז. לפיכך, רכיבי העלות המרכזיים הם עבודות החשמל למערכת החירום, עלות הסוללה ומערכת לניהול צריכת האנרגיה במבנה.

פרק ב': נוהל עבודה מומלץ לתכנון והקמה של מרכזי חוסן באנרגיה במתקני קליטה לשעת חירום

בחלק זה, יוצגו השלבים והפעולות שמשרד האנרגיה ממליץ לנקוט החל מהשלב המקדמי בו נשקלת הקמת מערכת חוסן באנרגיה במתקן קליטה לשעת חירום ועד לשלבי התכנון וההקמה של מערכת זו, לרבות קביעת נהלי עבודה לגורמים האמונים על פעילות המרכז וקביעת פעולות לשגרה ולחירום. לפיכך, שלבים 1 עד 2, הינם שלבים מקדימים לתכנון המרכזים ומטרתם, להגדיר את צרכי החירום של המתקן לרבות, השירותים אותם יספק בחירום וצרכי האנרגיה שלו. לאחר מכן, תבוצע בדיקת היתכנות שמטרתה לבחון באם מתקן הקליטה עומד בדרישות האנרגיה לחירום שהוגדרו, בכדי שניתן יהיה לשלב בו מערכת חוסן באנרגיה, בהתאם להגדרתה: מערכת סולארית שתחובר למערכת אגירת אנרגיה על בסיס סוללות עם אפשרות התחברות לרשת החשמל, ובמקרה של נפילת הרשת, אפשרות להתנתק ממנה ולהפוך את המבנה ל"אי של אנרגיה".

אם לאחר ביצוע שלבים 1 עד 4, תתקבל ההחלטה כי המבנה מסוגל לפעול כמרכז חוסן באנרגיה ולספק את המענה הדרוש בחירום, ניתן יהיה להתקדם לשלבי התכנון והביצוע הבאים. להלן תרשים המציג את כלל השלבים:

תרשים 1 - שלבי בדיקת ההיתכנות להקמת מרכז חוסן באנרגיה



1. הגדרת צרכי החירום של מתקן הקליטה

הגדרת צרכי החירום של מתקן הקליטה צריכה להיעשות בשיתוף מלא של הגורמים האמונים על קביעת נהלי החירום של מתקני הקליטה בישראל: הרשות לפס"ח ורח"ל, ושל הגורמים האמונים על אספקת צרכי החירום ברמה המקומית: נציגי הרשויות המקומיות ומנהלי מתקני הקליטה. שיתוף פעולה זה, כמו גם מתן הנחיות וקווי ייסוד ברורים לאורך שרשרת הניהול (החל מהרגולטור ועד למתקן הקליטה עצמו), הינו אבן יסוד להבטחת מוכנות מערך האנרגיה של המתקן לחירום, תפקודו התקין ואספקת כלל הצרכים הדרושים לשהים בו, ולמשך הזמן שיידרש. המלצות לעניין זה מובאות בשלב 7 לנוהל העבודה המומלץ.

צרכי החירום של מרכז החוסן יוגדרו בהלימה למאפייני המתקן כפי שאלו מצוינים בתיק המתקן (להסבר בנוגע לתיקי המתקן ראה נספח 1 סעיף 1.3 'הכנת תיקי תכנון במערך פס"ח'). בתוך כך יוגדרו:

- 1.1 הצרכים אותם יספק מתקן הקליטה בעת חירום (לרבות אמצעי תקשורת, שירותים רפואיים, עבודה חיונית וכדומה);
- 1.2 כמות האנשים שצפויים לשהות במתקן בחירום;
- 1.3 תמהיל האוכלוסייה שהמתקן צפוי לקלוט (למשל, אוכלוסייה מבוגרת ופעוטות);
- 1.4 משך הזמן עבורו נערך מתקן הקליטה לספק שירותים בחירום;
- 1.5 פרק הזמן בו נדרש המתקן לעבור משגרה לחירום. בהקשר למערכת אגירת אנרגיה, להנחיה זו משקל כבד שיגדיר את רף הפריקה המקסימלי המותר למערכת.

2. הגדרת צרכני אנרגיה ושירותים חיוניים שיופעלו בחירום

בדיקה זו, מטרתה להבין מי הם צרכני האנרגיה שהפעלתם בעת חירום, ובפרט בזמן הפסקת חשמל ממושכת כתוצאה מאירוע קיצון, היא הכרחית על מנת לספק למפונים את צורכיהם הבסיסיים (אלו יוגדרו כעומסי חירום במסמך זה). מכיוון שיכולת אספקת האנרגיה בחירום מוגבלת ותלויה בהספק מערך הייצור הסולארי וקיבולת האגירה, האנרגיה תסופק למערכות החיוניות במבנה בלבד. על כן, הצריכה בשעת חירום הינה פונקציה של הרכיבים הבאים:

- 2.1 **הגדרת העומסים שיופעלו בחירום:** בשלב זה, יוגדרו סוגי העומסים שהפעלתם בחירום חיונית. אלו יכולים להיות לדוגמא:
 - 2.1.1 מקררים, לשמירה על תרופות, אינסולין, חלב לתינוקות וכדומה;
 - 2.1.2 תאורה בחללים המיועדים לאכילוס או בהם נדרשת הארה בשעות הלילה (כדוגמת חדרי מדרגות ומבואות בהם צפויים מעברי קהל);
 - 2.1.3 מאוררים, לאורור החלל לשהייה ללא מיזוג;
 - 2.1.4 מחשבים, לעבודה חיונית;



- 2.1.5. ציוד תקשורת, לתקשורת חיונית של המרכז;
- 2.1.6. משאבות ביוב, מים, ומערכות טיהור אוויר;
- 2.1.7. שקעים להטענת טלפונים ולהפעלת מכשירים ספציפיים.
- 2.1.8. כל צורך אחר החיוני לתפקודו של המתקן או בטיחות השהים בו.
- 2.2. **מספר עומסי החירום שיידרשו להפעלה בכל רגע נתון בשעת חירום;**
- 2.3. **קביעת מדרג היררכי לעומסי החירום:** במצב חירום ייתכן תרחיש בו תיידרש הפעלה של מספר עומסי חירום רב יותר מזה שהוערך בהגדרת צרכי החירום של המבנה. עקרון השלת עומסים קובע, כי בעת הצורך (בעיקר בשיאי צריכה) תופסק הזרמת החשמל לצרכני אנרגיה מסוימים על מנת להפחית מהעומס הכללי על מערכת החשמל. לפי עקרון זה, מומלץ לקבוע מדרג היררכי לעומסי החירום, שיגדיר במפורש אילו מן העומסים הם החיוניים ביותר. בהתאם לזאת, במקרה בו הביקוש יהיה גדול מההספק הזמין, תופסק אספקת החשמל לעומסי החירום שחיוניים פחות על מנת לאפשר לעומסים החיוניים ביותר להמשיך לתפקד.
- 2.4. **חישוב צריכת השיא בחירום:** בשלב זה, תחושב צריכת השיא בחירום, כפונקציה של הבאים:
- 2.4.1. **ההספק של כל אחד מעומסי החירום שהוגדרו כחיוניים:** כל אחד מצרכני האנרגיה שיופעלו צורך כמות מסוימת של חשמל בהתאם למשך הזמן בו פועל ולטכנולוגיה של מרכיביו. הערכת ההספק תביא לידי ביטוי את עוצמת ההפעלה של צרכן האנרגיה, במקרים בהם ההספק הנצרך אינו קבוע לאורך זמן ההפעלה;
- 2.4.2. **משך ההפעלה:** בשלב זה, יוגדר פרק הזמן, ובפרט השעות, בהן נדרשת הפעלה של כל אחד מצרכני האנרגיה בחירום. למשל, עבור מערכת תאורה מסוימת, אשר נדרשת בהפעלה בשעות החשיכה בלבד, יוגדרו שעות הפעילות בהתאם לצורך זה. יש לשים לב כי משך ההפעלה של עומסים מסוימים עשוי להשתנות בהתאם לעונות השנה השונות (למשל מערכות תאורה שהדרישה להפעלתן משתנה כתלות באורך היום וכמות התאורה הטבעית שמסופקת). במקרים אלו יש להביא שינוי עונתי זה בחשבון;
- תוצר שלב זה יהיה פרופיל צריכה שעתי של כל אחד מצרכני האנרגיה שהוגדרו כחיוניים לחירום.**
- 2.5. כמו כן, בהתאם לדרישות מערכת החוסן שהוגדרו מראש, יש לבחון את יכולת המערכת לספק חשמל במשך הזמן עבורו נערך מתקן הקליטה לספק שירותים בחירום (ובהתאם להגדרות והצרכים אשר מופו בשלב 1 לעיל). **יודגש כי על המערכת להיות מסוגלת לספק הן את הביקוש הכולל לחשמל של צרכני החירום והן את שיאי הביקוש ברגעים בהם**

נדרשת הפעלה מרובה של עומסי חירום בו בזמן. מכאן, החשיבות של בניית פרופיל צריכה ברזולוציה לכל הפחות שעתית (תיאור אופן הערכת יכולת אספקת החשמל של המערכת מוצג בשלב 3 מטה).

2.5.1. להלן דוגמא מתמטית פשטנית להמחשת פרופיל צריכת האנרגיה הדרושה למרכז חוסן, אשר נדרש לספק צורכי אנרגיה בחירום למשך שלושה ימי חורף רצופים (דהיינו 72 שעות) ובאופן אוטונומי (קרי ללא יכולת אספקת חשמל מהמערכת הפוטו-וולטאית).

$$\sum_{i=1}^n Ni \times kW_i \times Hi = Total\ Consumption\ (kWh)$$

כאשר:

Ni – מספר צרכני האנרגיה לכל עומס חירום, i – סוג עומס החירום (מקרר, מאוורר, מחשב וכדומה), $i = 1,2,3,\dots,n$

kWi – ההספק הרגעי של עומס החירום

Hi – סך השעות במהלך התקופה שהוגדרה (72 שעות בדוגמא הנ"ל) שבה תידרש הפעלת כל עומס חירום.

2.5.2. בדוגמא זו, על המערכת המתוכננת להבטיח מחד, את אספקת החשמל הנדרשת לאורך 72 שעות החירום שהוגדרו לצורכי דוגמא זו. מאידך, להבטיח את יכולת המערכת לספק את שיא הביקוש בכל רגע נתון, דהיינו: $\sum_{i=1}^n Ni \times kW_i$.

3. אמידת יכולת אספקת החשמל של המערכת הסולארית המתוכננת

לאחר שהוגדר פרופיל הצריכה השעתי של מתקן הקליטה בחירום (כמפורט בשלב 2 לעיל), יש לוודא כי התנאים באתר, או המבנה, מאפשרים אספקת חשמל מלאה ורציפה באמצעות מערכת הייצור הסולארית ומערכת האגירה (בהתאם לצרכים והתנאים שהוגדרו מבעוד מועד).

על כן, טרם הקמת המערכת נדרש לאמוד את יכולת אספקת החשמל של המערכת הסולארית המתוכננת. בדיקה זו, תיעשה תוך התייחסות לשימושי המערכת בחירום ובהתאם לפרופיל הצריכה השעתי של צרכני החירום שחושבו לעיל.

כמו כן, הפעולות שיוצגו להלן הינן הפעולות המומלצות למערכת סולארית מתוכננת שהקמתה טרם הושלמה. אם מדובר במבנה בו קיימת מערכת ייצור סולארית מבעוד מועד, נדרש יהיה להעריך את יכולת אספקת האנרגיה של המערכת לצרכני החירום שהוגדרו בשלב 2, אל מול ביצועי המערכת הסולארית בפועל.

להלן הפעולות שנדרש לבצע לצורך אמידת יכולת אספקת החשמל של המערכת הסולארית המתוכננת:

- 3.1. **מיפוי השטח הפוטנציאלי להתקנת הפאנלים הסולאריים:** במיפוי זה יילקח בחשבון סך השטח שניתן להשתמש בו לייצור חשמל (שטח הגג ברוטו), לרבות גגות ודפנות המבנה. לאחר שאלו מופו, יחושב השטח הפנוי (נטו) שניתן להתקין עליו פאנלים סולאריים.
- 3.2. **הערכת ההספק המקסימלי שניתן לייצר באתר:** לאחר שמופה השטח הפנוי שניתן להתקין עליו פאנלים סולאריים לייצור חשמל, יוערך גודל המערכת הסולארית שניתן להתקין באתר. נהוג להניח כי התקנת מערכת פוטו-וולטאית בהספק של 1 קו"ט על גג שטוח דורשת כ-6-10 מ"ר פנויים להנחת הפאנלים (כתלות בשיפוע הפאנלים, ביכולת הייצור של המערכת, במרווחים הדרושים למניעת הצללה בין הקולטים ובמעברים לשירות). כמו כן, בחישוב שטח הגג הפנוי, יש לקחת בחשבון גם את עומס המערכת על הגג (לרבות משקל המערכת ורוחות) כמגבלה להתקנה על גבי גגות קלים.
- 3.3. **הערכת יכולת אספקת החשמל של המערכת הסולארית** כפונקציה של ההספק המערכת המותקן. לצורך זה, יש להעריך את תפוקת יצור המערכת הסולארית בשנה (קוט"ש), תוך התחשבות במיקום הגיאוגרפי של המערכת ובבניינים סמוכים או גורמים אחרים שעשויים ליצור הצללה.
- 3.4. **הערכת קיבולת (קוט"ש) והספק הפריקה (קו"ט) של מערכת האגירה:** הערכה זו תתבסס על מאפייני מערכת האגירה המתוכננת ובפרט, תוך התייחסות לבאים:
 - 3.4.1. קיבולת האגירה (קוט"ש), אשר תגדיר את סך האנרגיה הזמינה לשימוש צרכני חירום. בתוך כך, יש לחשב את עומק הפריקה של הסוללה (DoD – Depth of Discharge), אשר מבטא את אחוז הסוללה שניתן לפרוק מבלי לפגוע באורך חייה. על פי רוב, יצרני המערכות מצהירים על תכולת האנרגיה נטו הזמינה לשימוש בהתאם לעומק הפריקה המומלץ לאותה טכנולוגיה. עומק הפריקה ואורך חיי הסוללות משתנה מיצרן ליצרן.
 - 3.4.2. הספק הפריקה של מערכת האגירה (קו"ט) מבטא את ההספק המקסימלי שיכולה מערכת האגירה להעביר לעומסי החירום. כפי שהובהר לעיל, על הספק הפריקה של מערכת האגירה להיות גבוה מהספק השיא הנצרך על ידי צרכני החירום (כפי שהוערך בהתאם לשלב 2 לעיל).
- 3.5. **הערכת יכולת אספקת האנרגיה של המערכת המשולבת לצרכני החירום של מתקן הקליטה:** זאת, יעשה תוך שקלול יכולות ומגבלות שתי המערכות גם יחד (המערכת הסולארית ומערכת אגירת האנרגיה), לספק חשמל לצרכני החירום ברמה השעתית.



4. קבלת החלטה אם תתכן הקמת מרכז חוסן באנרגיה במבנה

אם לאחר ביצוע כל השלבים לעיל יעלה כי מאפייני המבנה ובפרט, יכולת ייצור החשמל הסולארי, ואספקת האנרגיה ממערכת האגירה מתאימים לדרישות בחירום, ניתן יהיה להתקדם בתכנון והקמת המערך, כפי שיתואר בשלבים הבאים.

5. הגדרת הפרוגרמה

הפרוגרמה הינה מסמך בה מגדיר האדריכל, יחד עם הגורם האמון על פעילות מרכז החוסן באנרגיה את ההנחיות והדגשים העיקריים בתכנון המרכז. הפרוגרמה צריכה להביא לידי ביטוי, בצורה מקיפה ככל הניתן, את השימושים הפונקציונאליים של מרכז החוסן באנרגיה ואת ההנחיות והדגשים לשילובו במבנה ובסביבתו של המבנה (לדוגמא, באם מדובר במבנה חדש ללא מערכת ייצור סולארי, תתוכנן סביבת המבנה כך שלא יוקמו מבנים או יישתלו עצים מדרומו שעלולים לייצר הצללה על שטח הגג שיונחו בו פאנלים סולאריים). תכלית הפרוגרמה, היא לגבש את סך המרכיבים שיהוו בסיס לשרטוט המרכז ובהמשך, לתכנון ממשי שלו.

בהמשך לשלב 4, לאחר שנתקבלה ההחלטה כי מאפייני המבנה מאפשרים את מימוש פוטנציאל הייצור הדרוש לשם הפעלת השירותים החיוניים בשעת חירום באופן אוטונומי ולמשך הזמן שהוגדר, ניתן להגדיר את הפרוגרמה למרכז החוסן באנרגיה.

חשוב להדגיש, כי חלק זה דן בהגדרות שיש להביא בחשבון במהלך התכנון, לעניין מרכז החוסן באנרגיה בלבד. על כן, אם מדובר בהקמת המרכז במבנה חדש, דרישות הפרוגרמה ישולבו בשלב תכנון המבנה. אם מדובר במבנה קיים, דרישות הפרוגרמה יגזרו את ההתאמות שנדרש לבצע במבנה במהלך תכנון והקמת מרכז החוסן באנרגיה.

להלן ההגדרות הבסיסיות שיש לכלול בפרוגרמה:

5.1. הגדרות למערכת החוסן באנרגיה

5.1.1. הספק המערכת הסולארית וקיבולת האגירה של הסוללות: זאת יוגדר בהלימה

מלאה לממצאי הבדיקה שבוצעה בשלבים 1-4.

5.1.2. ההתאמות הנדרשות למערכת החשמל (בין אם קיימת ובין אם מתוכננת) למערכת

הסולארית ולמערכת האגירה: בתוך כך, התאמת לוחות החשמל כפונקציה של רשת

החירום ומיקום חלקי המערכת. חשוב להדגיש כי בכדי שבעת חירום ניתן יהיה לעבור

למצב בו מסופק חשמל לצרכני החירום בלבד (כפי שאלה הוגדרו מעלה), יש לתכנן

ולהתאים את לוח החשמל של מרכז החוסן כך שתיעשה הפרדה בין מעגל חיוני לבין

מעגל לא חיוני.



5.1.3. מעבר המערכת ממצב שגרה למצב חירום: הגדרת צורת תפעול המערכת במעבר משגרה לחירום, לרבות הגדרות תפעוליות פרטניות באם המעבר נעשה באופן אוטומטי או ידני.

5.2. הגדרות למבנה בו יוקם מרכז החוסן באנרגיה

5.2.1. אזורי התפעול בחירום וזמינותם: בתוך כך, יוגדרו האזורים והחללים במבנה אשר יהיו פעילים בשעת חירום ורמת זמינותם במהלך היום. בפרט, יוגדרו האזורים אליהם תתאפשר רציפות תפקודית בחירום.

5.2.2. מיקום כניסות ויציאות החירום למבנה ולחדרים התפעוליים במרכז (לדוגמא, החדר בו תוקם מערכת האגירה).

5.2.3. הגדרת האזורים בהם ניתן למקם את רכיבי מערכת החירום, כך שהגישה אליהם תתאפשר לגורמים המוסמכים לכך בלבד.

6. מימוש הפרוגרמה – תכנון ממשי של מרכז החוסן באנרגיה

לאחר שהוגדרו כלל דרישות הפרוגרמה למרכז החוסן באנרגיה, ניתן לעבור לשלב התכנון הממשי והקמת המרכז. המידע בחלק זה נועד לספק לרשות המקומית, לבתי הספר ולגורמים מטעמם העוסקים בדבר, רקע ראשוני אודות רכיבי המערכת ומודל אפשרי לתכנון מערכת חוסן באנרגיה. בנוסף, בחלק זה משולבים עקרונות לתכנון שעשויים לסייע לגורמי המקצוע, ביניהם מהנדסים, אדריכליים ויועצי חשמל, בגיבוש התשתית הראשונית של המערכת.

חשוב להדגיש כי קיימות שיטות שונות לשילוב מערכת חוסן באנרגיה במערכת סולארית (שפועלת במסגרת אסדרה ייעודית) המחוברת לרשת. במסמך זה מוצגת תצורה מסוימת כהדגמה. ייתכנו תצורות נוספות אשר עשויות לספק מענה לצרכי המערכת בשגרה ובחירום. תכנון מפורט של מערכת החוסן ייעשה על ידי מהנדס חשמל בעל רישיון מתאים באופן שיתאים למאפייני המבנה, למערכת החשמל, לדרישות המזמין ולדרישות האסדרה הרלוונטיות.

כמו כן, מתוך שאיפה שהמערכת תספק תועלת גם בשגרה, מוצגים ההיבטים שיש לשלב בתכנונה על מנת שתתאים לשני משטרי הפעלה: הפעלה בשגרה והזרמת החשמל לרשת הולכת החשמל הארצית, והפעלה בחירום והזרמת החשמל לרשת סגורה, הפועלת במנותק מרשת החשמל הארצית באמצעות סוללות, לאותם מעגלים שהוגדרו בפרוגרמה כצרכנים חיוניים לשעת חירום.

6.1. מערך ייצור החשמל הסולארי

בסעיף זה, יוצגו רכיבי מערכת סולארית סטנדרטית בטכנולוגיה פוטו-וולטאית, המותקנת במסגרת אסדרות רשות החשמל המגדירות את גודלה ואת התמלוגים שבעל המערכת זכאי לקבל תמורת האנרגיה המוזרמת לרשת.



6.1.1. מערך פאנלים סולאריים: מערך אשר מורכב מפאנלים (להלן: "קולטים" או "מודולים") סולאריים הבנויים בטכנולוגיה של תאים פוטו-וולטאיים ומותקנים במטריצה תחת זכוכית. בדומה לסוללות של פנס, המודולים מחוברים במחרוזת טורית להעלאת המתח, כאשר מספר מחרוזות מחוברות במקביל להעלאת ההספק. כלל האצבע לחישוב ההספק המותקן במערכת, בהתאם לטכנולוגיה המקובלת היום, הינו בקילו-וואט הספק מותקן עבור כל 6-10 מ"ר שטח גג פנוי.

בעת תכנון המערכת הסולארית מומלץ לתכנן את מערך הפאנלים הסולאריים כך שחלק מהפאנלים יחוברו בעתיד ישירות למטען המשני (ראה סעיף 6.2.2 להלן).

6.1.2. ממיר סולארי (Solar Inverter): ממיר סולארי (להלן: "מהפך" או "אינוורטר") מתחבר למחרוזת הפאנלים, מקבל את האנרגיה המיוצרת מאנרגיית השמש בזרם ישר, הופך אותה לחשמל בזרם חילופין בתדר של רשת החשמל ומזרים אותה לרשת כאשר אין תקלות ברשת. כאשר קיימת תקלה ברשת, כולל במצבים של הפסקת חשמל, הממיר מפסיק להזרים חשמל לרשת. התנתקות זו, נחוצה בכדי להגן על גורם אנושי שמתקן את הרשת בשעת תקלה.

להלן מאפייני ממיר סולארי אשר מתאים למערכת חוסן באנרגיה:

- ממיר המתפקד הן במצב שגרה – בעת חיבור לרשת החשמל הארצית, והן במצב חירום – בעת חיבור לרשת פנימית סגורה המנותקת מרשת החשמל. מכיוון שאין אחידות באופן שבו ממירים ממלאים את דרישות התקנים הבינלאומיים לחיבור לרשתות, יש לדרוש אישור מהיצרן שמראה כי הממיר יכול לעבוד בשני המצבים.
- יש לבחור ממיר שיכול לווסת את ייצוא האנרגיה בהתאם לדרישות הצרכנים ולטעינת הסוללות. ייצור האנרגיה ינוהל על ידי הממיר ההיברידי (כפי שזה יוצג בהמשך תחת תכנון רכיבי מערכת האגירה). בכדי לתקשר עם הממיר ההיברידי, על הממיר הסולארי לקלוט פקודות ממנהל הרשת האזורית. כיום, ניתן להזמין את רוב הממירים הסולאריים האיכותיים עם כרטיס מובנה לניהול ייצוא האנרגיה על ידי מנהל רשת החשמל (להלן: "מנהל המערכת").
- יש לבחור ממיר סולארי שמסוגל לווסת את הייצור בהדרגה בהתאם לשינויים בתדר: בעת מצב של איזון בין הצריכה והייצור, התדר נשמר יציב. כאשר יש ייצור יתר, מעל דרישת הצריכה, התדר עולה והממיר מתוכנת להפסיק לעבוד במצב זה.

- מיקום הממיר הסולארי הינו פונקציה של עלות המערכת ונצילות הייצור במערכת. להלן הנקודות שיש להביא בחשבון בעת מיקום הממיר:
 - מפל המתח על כבלי זרם ישר המגיעים מהפאנלים.
 - מפל המתח על כבלי זרם חילופין היוצא לכיוון מונה של חח"י.
 - טמפרטורת הסביבה וזווית הפאנלים מול השמש.
 - למניעת חשיפה לקרינה בלתי מייננת הקורנת מהממיר, יש לשמור על מרחקי בטיחות בהתאם להנחיות המשרד להגנת הסביבה¹⁸.

6.1.3. **לוח איסוף ממירים:** לוח איסוף ממירים הינו לוח חשמל ייחודי הקולט את האנרגיה שהומרה על ידי הממירים ומעבירה אל לוח החלוקה של הבניין דרך מונה של חברת חשמל.

6.1.4. **אוגר נתונים (Data Logger):** אוגר נתונים הינו רכיב חיוני לתחזוקת המערכת. האוגר מאפשר למפעילי המערכת לעקוב אחר תפקוד המערכת ולבחון אותה לעומת התכנית העסקית. האוגר מקבל נתוני ייצור מהממיר (בעזרת תקשורת נתונים כמו אתרנט, תקשורת טורית תעשייתית, ווי-פי וכדומה) ומאפשר גישה לנתונים על ידי מערכות ניהול ובקרה. האוגר יכול לקבל נתונים סביבתיים כמו רמת קרינת השמש, טמפרטורת סביבה וטמפרטורת גב הפאנל. נתונים אלו מאפשרים למפעילי המערכת להבין את נצילות המערכת ולבחון פתרונות במידה והמערכת אינה מתפקדת כראוי. בנוסף, ניתן להשתמש בנתונים שנאספים לצרכים פדגוגיים.

6.2. מערכת האגירה

6.2.1. **ממיר היברידי:** ממיר היברידי אחראי על הפעולות הבאות:

- בניית רשת של זרם חילופין עבור לוח החלוקה של המבנה
- טעינת הסוללות
- חלוקת האנרגיה הסולארית המיוצרת בשעות היום בין טעינת הסוללות לבין הפעלת עומסי החירום
- ויסות האנרגיה המוזרמת מהמערכת הסולארית לטעינת הסוללות ולהפעלת עומסי החירום.
- ניהול רשת החשמל הפנימית של המבנה כאשר אספקת חשמל מהרשת הארצית ובקרה על מתח העבודה ותדר רשת החילופין.

¹⁸ https://www.gov.il/he/departments/guides/radiation_of_electrical_frequency?chapterIndex=3



הממיר ההיברידי כולל כניסה של הרשת הארצית ויציאה ללוח החלוקה של המבנה. כמו כן, הממיר מתחבר לסוללות ומבקר את טעינתן ופריקתן להזנת לוח החלוקה של המבנה. על ידי כך, הממיר ההיברידי אחראי על הזרמת אנרגיה מהסוללות לצרכני המבנה כאשר מספיק יצור אנרגיה מהמערכת הסולארית עקב תנאי מזג האוויר. כאשר יש ייצור חשמל עודף, הממיר ההיברידי מזרים עודף זה להטענת הסוללות. כשהסוללות מלאות, הממיר ההיברידי פוקד על הממיר הסולארי לייצר פחות חשמל.

6.2.2. מטען משני: תפקידי המטען המשני הינם:

הפעלת המערכת במצב של פריקה עמוקה, כלומר הפעלת עומסי החירום מבלי להסתמך על רשת הולכת החשמל במקרה של השבתה מלאה או חלקית של הרשת.

טעינת הסוללות בזמן שהממיר הסולארי מזין ישירות את עומסי החירום, פעולה אשר מעלה את יעילות המערכת באופן משמעותי.

המטען המשני מוזן על ידי חלק מהפאנלים הסולאריים וטוען את הסוללה ישירות ולא דרך הממיר ההיברידי. על מנת לתכנן את כמות הפאנלים המינימלית המחוברת ישירות למטען המשני, יש לחשב כמות מספיקה ל"הפעלה חשוכה" (Black Start), דהיינו, הפעלה ממצב של פריקה עמוקה כמתואר לעיל, כאשר תנאי מזג האוויר או תקלה במערכת גורמים לפריקת הסוללות מתחת לסף הטעינה שמאפשר הזרמת אנרגיה ללוח עומסי החירום. זאת, מפני שהממיר הסולארי לא ייכנס לפעולה עד שקיים מתח בלוח החשמל של עומסי החירום.

כמו כן, היחס בין המודולים המחוברים דרך המטען המשני (הטוענים א סוללות בזמן שהממיר הסולארי מזין ישירות את עומסי החירום) לבין המודולים המחוברים לממיר הסולארי מבטא למעשה את היחס בין העומס הנדרש בשעות היום לבין העומס הנדרש בשעות הלילה.

6.2.3. מערך הסוללות:

מערך הסוללות צריך להיות בעל קיבולת אשר מתאימה לספק את צרכי החירום והשירותים החיוניים שמופו בסעיף 2. מערך סוללות בעל קיבולת מתאימה אוגר אנרגיה לצריכה בשעת חירום כאשר אין אספקת חשמל מהרשת הארצית. הסוללות נטענות ונשמרות טעונות בחשמל בימי שגרה. בשעת חירום, עם מעבר המפסק למצב חירום, טעינת הסוללות מתבצעת על ידי המערכת הסולארית במקביל להזנת הצרכנים, והממיר ההיברידי מנהל את הטעינה. במידה ובמצב חירום הסוללות

מתרוקנות בשעת לילה, באור יום המטען המשני יטעין את הסוללות על מנת לאפשר לממיר ההיברידי להעביר אנרגיה לצרכנים, ובכך יאפשר גם לממיר הסולארי להיכנס לפעולה.

- סוג הסוללה: קיימים סוגים שונים של סוללות שיכולים להיות מתאימים ליישום במערכת חוסן באנרגיה. על מתכנן המערכת לבחור את הטכנולוגיה המתאימה ביותר, תוך עמידה בהנחיות והתאמה לשימוש בסביבת המבנה בו מותקנת המערכת. במידה והמתקן מוקם בבית ספר, הטכנולוגיות המוכרות ביותר בשוק שמתאימות להתקנה הינן סוללות ג'ל חומצת עופרת, וסוללות יון ליתיום. ברוב הדוגמאות שנסקרו מרחבי העולם הותקנו סוללות מסוג יון ליתיום. סוללות אלו אינן מכילות עופרת שעלולה לגרום למפגע סביבתי והינן בעלות אורך חיים ארוך בהרבה. להלן השוואה בין שני הסוגים:

טבלה 1 - השוואה בין סוללות ג'ל לבין סוללות ליתיום יון

סוללות יון ליתיום Lithium ion	סוללות ג'ל חומצת עופרת VLRA gel	קריטריון
עלות גבוהה	עלות נמוכה	עלות
10-20 שנים	6-10 שנים	אורך חיים
דורש שטח מצומצם להתקנה	דורש שטח גדול להתקנה	שטח
טכנולוגיה חדשה, ללא ניסיון ארוך טווח	מכיל חומר רגיל, מהווה מפגע בזמן פירוק, הריסה או נזק	סוגיות בטיחות
טכנולוגיה בשימוש נרחב ברוב בתי הספר בארצות הברית	טכנולוגיה בדוקה וותיקה	מאפייני השימוש
אין צורך בתחזוקה	אין צורך בתחזוקה	תחזוקה

- קיבולת האגירה: קיבולת האגירה הינה פונקציה של פרופיל צריכת האנרגיה, משך הזמן בו המערכת פועלת באופן אוטונומי (במנותק מרשת הולכת החשמל הארצית) מקדמי ביטחון ועלות הסוללות. להלן הדברים שיש להביא בחשבון בקביעת קיבולת האגירה:
 - רשת החירום תכלול רק צרכנים שנבחרו מראש והוגדרו כחיוניים לפעול בשעת חירום, כפי שאלו מופו בשלב 2.
 - קיבולת האגירה של הסוללות תוגדר בהתאם לפרופיל הצריכה של צרכני האנרגיה בחירום.

- קיבולת האגירה תקבע בהלימה לפרק הזמן שהוגדר כי בו המערכת תהיה זמינה לפעול עצמאית בחירום.

• **חדר הסוללות:**

- חדר הסוללות יכלול את כלל רכיבי המערכת.
- גודל וצורת חדר הסוללות תלוי בסוג הסוללות שיבחר ובציוד הנוסף: ממיר היברידי, מטענים משניים ולוחות חלוקה ותקשורת.
- החדר יתוכנן על פי הנחיות מהנדס חשמל ודרישות יצרן מערכת האגירה, דרישות חוק החשמל, חח"י, המוסד לבטיחות ולגיהות והמשרד להגנת הסביבה ובהתאם להנחיות כיבוי אש ויועץ בטיחות.
- יש לתכנן את עומסי הקונסטרוקציה ביחס למשקל הסוללות (לדוגמה - משקל סוללות מסוג ג'ל חומצת עופרת יכול להגיע לעד 4 טון לכל 100 קוט"ש).
- על אף שהסוללות מגיעות עם מערכת הגנה אינטגרלית למניעת התחממות, יש לתכנן בחדר מקור אוורור (ולעיתים קירור) בהתאם להנחיות היצרן.
- להלן מידות מומלצות לחדר סוללות (עבור סוללה בעלת קיבולת אגירה של 200 קוט"ש):

טבלה 2 - מידות מומלצות לחדר סוללות

סוללות יון ליתיום Lithium ion	סוללות ג'ל חומצת עופרת VLRA gel	קריטריון
6.5 מ"ר	12 מ"ר	שטח החדר
2.5 מ' X 2.5 מ'	4 מ' X 3 מ'	מידות החדר
2.5 מ'	2.5 מ'	גובה החדר
2,000 ק"ג	6,000 ק"ג	משקל הסוללות

• **סוגיות בטיחות:**

- הסוללות יותקנו בחדר שאינו נגיש לתלמידים ועם נעילה מפני כניסת אנשים בלתי מורשים.

- יש לשמור על מרחקי בטיחות על פי הנחיות המשרד להגנת הסביבה לצמצום החשיפה לקרינה¹⁹: לפחות 4 מטרים בין הממירים לבין אזורי שהייה ממושכת, ולפחות חצי מטר בין מיקום כבלי זרם חילופין לאזורי שהייה ממושכת.
 - יש להתקין מערכת גילוי וכיבוי אש על פי התקן הישראלי ת"י 1220 חלק 3.
 - כאשר משתמשים בסוללות ליתיום, יש להתקין גלאי לחות שיתריע על הימצאות מים.
 - מומלץ להתקין גלאי מימן.
 - בסוף השימוש בסוללות, יש לפנות את הסוללות בהתאם להנחיות פינוי פסולת חומרים מסוכנים או פסולת אלקטרונית.
 - תשתית חשמל:
 - יש לדאוג להארקה תקינה. כמו כן, מומלץ שתהיה יציאה מהארקה היסוד של החדר.
 - יש להתחשב במפל המתח על הכבלים המתחברים אל הפאנלים הסולאריים המזינים את המטענים בעת בחירת חתך הכבל מהפאנל למטען המשני או ההיברידי. ככל שמפל המתח גבוה יותר, יש להשתמש בחתך כבל גדול יותר.
 - קרינה וחומרים מסוכנים (חומ"ס): אין חשש קרינה מהסוללות מכיוון שלא עובר בהם זרם חליפין. כמו כן, על פי הנחיות המשרד להגנת הסביבה²⁰, הרכיבים המייצרים שדות מגנטיים במערכת סולארית עם אגירה, הם הממירים וכבלי זרם החילופין. על כן, על מנת לצמצם את החשיפה לקרינה, יש להגביל את החשיפה לשדות אלו על ידי שמירה על מרחקי בטיחות כפי שתוארו לעיל.
- 6.2.4. **אוגר נתונים:** בנוסף לתפקידיו במערכת סולארית עם אסדרה ייעודית, במערכת חוסן באנרגיה לאוגר נתונים תפקידים נוספים בהיבט אגירת האנרגיה:
- איסוף נתונים ובקרה על טעינת הסוללות
 - שליטה על טעינת המטען המשני

¹⁹ הנחיות המשרד להגנת הסביבה לעניין קרינה אלקטרומגנטית בתקן הישראלי לבנייה ירוקה 5281, מרץ 2020

²⁰ הנחיות המשרד להגנת הסביבה לעניין קרינה אלקטרומגנטית בתקן הישראלי לבנייה ירוקה 5281, מרץ 2020



- ויסות הייצור הסולארי על ידי הממיר הסולארי
- בקרת טמפרטורה של רכיבי המערכת
- שמירה על תקינות הסוללות

6.3. התאמת תשתיות החשמל במבנה למערכת החוסן באנרגיה

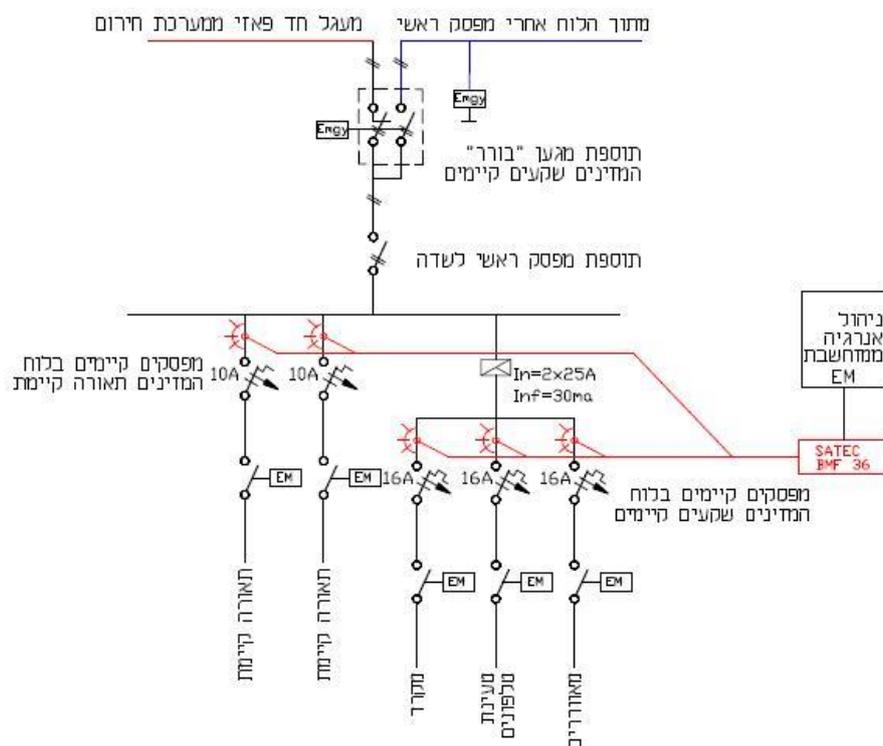
קיבולת הסוללות של מערכת חוסן באנרגיה הינה מוגבלת. על כן, יש להתאים את מערכת החשמל של המבנה בכדי לאפשר הזנת אותם מעגלים שהוגדרו בשלב הראשון כחיוניים לשעת חירום. כמו כן, יש להגביל את השימוש במעגלים אלה לייעוד שהוגדר מראש ולמנוע עומס מופרז. לדוגמה, יש למנוע שימוש בשקע מוזן ממערכת החוסן לצורך הפעלת תנור חימום ספיראלי או שואב אבק.

במבנים חדשים המיועדים להיות מרכזי חוסן באנרגיה, יש לתכנן את מערכת החשמל באופן מודולרי ולאפשר מעבר למצב חירום בעזרת מפסק בורר (משטר ההפעלה של המפסק הינו תלוי רגולציה). המפסק יעביר את מערכת החשמל מתפקוד מלא לתפקוד של מעגלים בודדים המחולקים בהתאם לצרכי מערכת החוסן באנרגיה. הדבר דומה לשדה חיוני בלוח חשמל ראשי הכולל גנרטור חירום.

במבנים קיימים יש להפריד מעגלים על מנת להשיג אותה מטרה. ההתאמות יכללו שינויים מטעמי בטיחות על פי חוק החשמל ותקנותיו, ותוספת של ממסרי פחת על השדות שהופרדו לחירום. יש לתכנן את המפסק הבורר כך שיבצע את הפעולות הבאות:

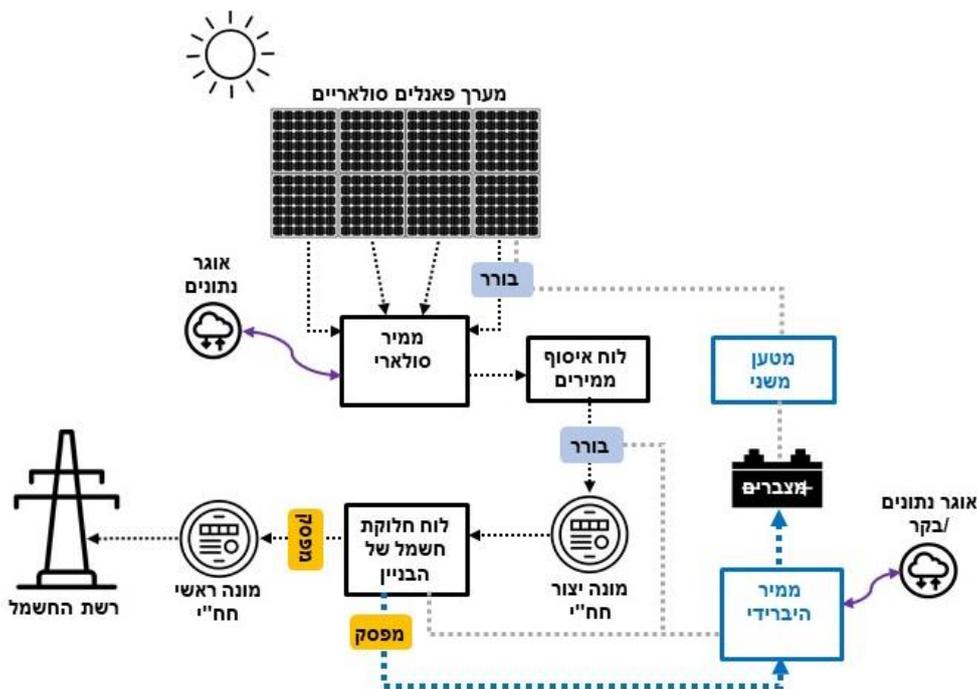
- ניתוק המפסק הראשי המזין את הלוח הראשי של המבנה
- הזרמת אנרגיה סולארית מהממיר הסולארי אל הממיר ההיברידי, שבחירום הופך למזין היחיד של לוח החשמל של המבנה
- העברת מעגלים נבחרים למצב של הזנת חירום

איור 1 – דוגמא לתכנון שדה חיוני עם תוספת לניהול אנרגיה בשעת חירום



לסיכום, במצב שגרה, הממיר הסולארי מזין את לוח החשמל של הבניין, שמזין את הממיר ההיברידי דרך הכניסה הראשית שלו וטוען את הסוללות. להלן תרשים הממחיש את פעילות מערכת החוסן בשגרה:

איור 2 - תרשים זרימה של מערכת חוסן באנרגיה במצב שגרה



במצב חירום, כאשר מתרחש אירוע של הפסקת חשמל, מערך הפיקוד והבקרה מעביר את המערכת למצב תפקוד חירום. בתוך כך, קורים התהליכים הבאים (המספור לצד הרכיבים השונים הינו בהלימה למספור רכיבי המערכת ב'איוור 3 - תרשים זרימה של מערכת חוסן באנרגיה במצב חירום'):

- המפסק הבורר (1) מעביר חלק ממחרוזות המודולים למטען סוללות משני.
- המפסק שממוקם ליד מונה חברת החשמל ינתק את הזנת החשמל לבניין (2)
- המפסק הנוסף ינתק את ההזנה מלוח החשמל לכניסה הראשית של הממיר ההיברידי ועל ידי כך יעביר את הממיר ההיברידי למשטר עצמאי (3)
- המפסק הבורר (4) יגרום לדרימה מהממיר הסולארי לממיר ההיברידי (שממש כלוח חשמל כאשר יש שימוש בסוללות). מיקום המפסק הבורר (4) (לפני או אחרי מונה הייצור), יהיה בהתאם לאמות המידה שבתוקף עבור המתקן הספציפי.
- מערכת הפיקוד בלוח החשמל תבדל את המעגלים שהוגדרו כרשת חשמל סגורה לחירום. מעגלים אלו יקבלו חשמל ממערכת החוסן באנרגיה בשעת חירום.
- הממיר הסולארי יווסת את ייצור החשמל בהתאם לדרישות רשת החשמל הסגורה בשעת חירום על פי אותות שהוא מקבל מהממיר ההיברידי. להלן תרשים אשר ממחיש את פעילות המערכת במצב חירום. התיאור שמופיע באיור הנ"ל עונה על דרישות חוק החשמל על כל תקנותיו, וכן על הנחיות מינהל החשמל²¹, אמות המידה הנקבעות על ידי רשות החשמל²² ודרישות הבטיחות בחשמל כפי שאלו מובאות על ידי ספק השירות החיוני.

²¹ הנחיות מינהל החשמל, ספטמבר 2020
²² ספר אמות המידה, רשות החשמל, דצמבר 2020



מפני שיעילות מערכת האגירה, הנמדדת על ידי שעות עבודה שניתן להפיק מהסוללות במשך 24 שעות, הינה פונקציה של משטר השימוש של הצרכנים ומפני שלרוב פרופילים אלה משוערים בלבד, ישנה חשיבות רבה לניטור העומסים. הניטור יאפשר שדרוג של מערכת ניהול העומסים בהתאם לצריכה בפועל לאורך שעות היום והלילה (בדומה להשללת עומסים הנהוגה בתעשייה – ראה הסבר לעקרון בסעיף 2.3 לעיל).

הצריכה הינה צד אחד של המשוואה והייצור הינו צדו השני. ניהול האנרגיה שנצרכת מהסוללות ביום מסוים צריך להביא בחשבון מה תהיה הדרישה בהמשך היום והלילה וכן מה הייצור הצפוי למחרת. למשל, אם צפוי שקרני השמש לא יפיקו מספיק אנרגיה למחזור מלא, מוטב יהיה לחסוך באנרגיה מבעוד מועד על ידי צמצום עומסים פחות חשובים לטובת אלה החשובים יותר. מערכת ניהול האנרגיה צריכה לקחת בחשבון את מזג האוויר הנוכחי וזה החזוי ליום המחר, וכן את מצב הטעינה של הסוללה עכשיו ובהמשך, בהתאם לייצור החזוי של אנרגיה על ידי המערכת הסולארית. מערכות אלה הן "מערכות לומדות" שמחייבות זמן לימוד ומשוב נתונים. לכן חשוב מאוד לתכנן את מערכת התקשורת, איכות אוגר הנתונים ויכולת האוגר לתקשר לבסיסי נתונים רבים.

ממשק נתונים: בשנים הקרובות צפוי שבערים יקומו מערכות חכמות הכוללות מרכזי שליטה ובקרה האוספים נתונים ממערכות שונות בעיר. כדי לאפשר מוכנות למערכות עתידיות כאלו, מערכת החוסן צריכה לאפשר ממשק נתונים להעברת מידע רציף על מצב המערכת, למרכזי המידע העירוניים העוסקים בחירום ובאנרגיה, כחלק מהמידע שיועבר באופן שוטף בערים חכמות.

שימושים פדגוגיים: מכיוון שמרבית ממתקני הקליטה המקומיים, מוקמים בבתי ספר עירוניים, מסמך זה משלב את ההיבטים החינוכיים העיקריים שניתן לגזור משילוב טכנולוגיות לאנרגיה מקיימת בבתי הספר. זאת, מתוך הנחה שמערכות אלו, לרבות מערכות ייצור חשמל סולארי ואגירת אנרגיה, עשויות להוות את הבסיס ללימוד והעשרה בנושאי אנרגיה מתחדשת ואנרגיה מקיימת. שילוב הנושאים שיוצגו מטה בתכנית הלימודים הבית ספרית, כמו גם מידת ההעמקה בהם, נתונים לשיקול דעתם של גורמי החינוך בבית הספר. בחלק זה, יוצגו הנקודות העיקריות שזוהה בהם פוטנציאל להעשרה ולימוד נוסף (להרחבה נוספת, ראה ' / נספח 3 – שימושים פדגוגיים במערכת החוסן):

- ייצור חשמל ממקורות אנרגיה מתחדשים ותרומתם להתמודדות עם משבר האקלים העולמי;

- שימוש באנרגית השמש לייצור חשמל סולארי;
- אגירת אנרגיה כבלי להיערכות לשעת חירום;

כמו כן, תידרש עבודה משותפת עם אנשי פדגוגיה וטכנולוגית למידה, פיתוח מפרט ותוכנה שיאפשרו גישה ותצוגה לנתונים בפורמטים ופרוטוקולים סטנדרטיים ובתצוגה קריאה.

7. קביעת נהלים לשגרה ולחירום

בחלק זה מוצגים היבטים ודרישות לעניין מרכזי החוסן באנרגיה אשר אופיינו על ידי משרד האנרגיה ומומלצים על ידו לעיגון בנהלי העבודה ובהנחיות הקיימות למתקני קליטה לשעת חירום. רתימת נהלים אלה ונהלים נוספים, ככל שיהיו, להנחיות המחייבות למתקני קליטה לשעת חירום, תיעשה על ידי הגורמים הרגולטורים האמונים על כך.

כמו כן, בסעיפים מעלה (סעיפים 1 עד 4) הוגדרו הפעולות והצעדים שיש להביא בחשבון בעת תכנון מרכז חוסן באנרגיה. משרד האנרגיה סבור כי צעדים אלו נדרשים בהגדרה פורמלית על ידי הגורמים הממונים. לשיטת המשרד, קביעת קריטריונים ודרישות אחידות למתקני הקליטה, או לכל הפחות הבניית כללי מסגרת אחידים, שבתוכם תינתן מידת גמישות למתקנים, היא בעלת חשיבות רבה להבטחת יכולת התפקוד של המערכת בחירום.

תפעול תקין של מערכת החוסן הינו הכרחי, בראשונה, עבור היערכות מיטבית של המערכת לשעת חירום וכן לשם פעילות תקינה של המערכת בזמן שגרה. בחלק זה, יוצגו המלצות משרד האנרגיה לעניין תפעול המערכת בשגרה והצעדים הנדרשים לצורך היערכות לחירום, לרבות מינוי בעלי תפקידים וקביעת קריטריונים תפעוליים למערכת אגירת האנרגיה.

7.1 הגדרת תרחישי החירום האפשריים וזמני ההתראה למעבר משגרה לחירום

על מנת להבטיח היערכות מיטבית של המערכת לחירום יש להגדיר תחילה את תרחישי החירום אליהם נערך מרכז החוסן באנרגיה לספק מענה ואת הצרכים הנגזרים מהם. לאחר שאלו יוגדרו, נדרש יהיה להגדיר את זמן ההתראה, דהיינו, את משך הזמן שיש להעביר את תפקוד מערך האנרגיה במתקן הקליטה ממצב שגרה למצב חירום. או לחילופין, את זמני ההתראה, במידה וקיימת דיפרנציאציה בין תרחישי החירום שהוגדרו או חלוקה לדרגות איום שונות, שדורשות בהתאמה כניסה מהירה יותר לתפקוד חירום של המערכת.

לאחר שאלו יוגדרו ויעוגנו בנהלי החירום למתקני קליטה, ייקבע מודל הפעלה פרטני לכל מתקן קליטה בו מוקם מרכז חוסן באנרגיה. מודל הפעלה יתוכנן כך שתובטח כשירות ומוכנות של מערך האנרגיה למעבר משגרה לחירום, בהינתן זמני ההתראה ותרחישי החירום שהוגדרו. למשל, (1) מודל שיקבע סף פריקה מקסימלי לקיבולת הסוללה, הן לשגרה והן לחירום, (2) מודל לפיו ניתן יהיה להשתמש בקיבולת האגירה בשלמותה בשגרה ויוגדרו הנחיות ל"כניסה" למצב היערכות של המערכת, אשר בו הסוללה תישאר טעונה במלואה למשך הזמן שיוגדר. לדוגמה, בעת שמתרחשת הסלמה ביטחונית או שעולה הסבירות להתרחשות אסונות טבע. בתרחישים דוגמת אלו, סביר שניתן יהיה לאפשר זמן היערכות למערכת בו ניתן יהיה לטעון את

הסוללות. (ניתן לשאוב השראה למודל הפעלה זה ממרכז החוסן שהוקם באוסטרליה והוצג בפרק הסקירה הבינלאומית, ראה תת פרק 2.1: פעילות המרכז בשגרה והיערכות לחירום).

7.2. בעלי תפקידים ותחומי אחריותם

הרשות לפס"ח פרסמה בפברואר 2019 חוברת עבודה ובה הנחיות מקצועיות למתקן קליטה מקומי לקליטת אוכלוסייה בשעת חירום²³. בהנחיות אלו, מגדירה הרשות את הפעולות שיש לבצע בשגרה כהכנה לחירום וכן את הפעולות הנדרשות בעת קליטת אוכלוסייה מפונה בחירום. בתוך כך, מוגדרים בעלי התפקידים המרכזיים שנדרש למנות בכל מתקן קליטה וכן את תחומי האחריות של כל אחד מהם. משרד האנרגיה מיפה בעלי תפקידים להם תחומי אחריות משיקים לפעילות מערכות האנרגיה במתקן ובתוך כך: מנהל מתקן קליטה וסגן מנהל מתקן קליטה.

בחלק זה, יוצגו תחומי אחריות בוספים, אשר לשיטת משרד האנרגיה, חשובים בהקשר מרכזי החוסן לחירום. לתפיסת המשרד יש להכלילם תחת הגדרת בעלי התפקידים המרכזיים במתקן הקליטה, כפי שאלו מוגדרים בחוברת ההנחיות המקצועיות. כמו כן, לפי המלצת משרד האנרגיה, יש למנות גורם מקצועי, שאינו מוגדר כיום במסגרת בעלי התפקידים, ושיהיה אמון על מערך האנרגיה במתקן. בתיאור מטה, יוצגו תחומי האחריות שלדעת המשרד יש לכלול בהגדרת תפקידו בעת שיוגדר התפקיד. להלן בעלי התפקידים והגדרות תפקידם לעניין מרכז החוסן באנרגיה:

7.2.1. מנהל מתקן קליטה:

בראשונה, תפקידו להכין את מתקן הקליטה בזמן שגרה, לרבות את הצוות והשירותים שנדרש המתקן לספק בשעת חירום. כמו כן, מומלץ שתפקידיו הנוספים יהיו:

- תיאום פעולותיהם של כל הגורמים ושירותי העזר הפועלים במתקן הקליטה, בתוך כך תיאום בין הגורמים המוסמכים לתפעול מערך האנרגיה במבנה, לבין כלל רשויות הביטחון הרלוונטיות והגורמים האחראיים מטעם הרשות המקומית;
- קביעת נהלי עבודה בשגרה, לרבות נהלים תפעוליים ותחזוקתיים של מערך האנרגיה;
- תקשורת ישירה עם מנהל תא פס"ח (בעל תפקיד שימונה על ידי ראש הרשות המקומית, לפירוט נוסף ראה סעיף 1.2.2 בנספח 1) ברשות המקומית, עדכונה ומסירת

²³ הנחיות מקצועיות למתקן קליטה מקומי לקליטת אוכלוסייה בשעת חירום, פברואר 2019

דיווחים שוטפים אודות פעילות המערכת, לרבות תקלות וליקויים שעלולים להגביל או למנוע את פעילותה התקין בשעת חירום;

- הפעלת המתקן ומערך האנרגיה כך שניתן יהיה לנהל חיי שגרה תקינים ולהמשיך את פעילות הארגון (בין אם מדובר בבית ספר, עירייה, מתנ"ס וכיוצא בזאת) ללא שיבושים;
- מינוי בעלי תפקידים שינהלו את נושאי האנרגיה של המתקן, תוך הגדרת תחומי אחריותם השונים.

7.2.2. סגן מנהל מתקן קליטה:

- מילוי מקומו של מנהל המתקן בהיעדרו ואחריות לנושאים המנהלתיים במתקן;
- הסברת הנהלים במתקן והטמעתם, ליצירת חיי שגרה בזמן שגרה. בתוך כך, נהלי העבודה והדגשים לתפעול מערך האנרגיה במתקן;

7.2.3. אחראי מרכז החוסן באנרגיה:

- ניהול ותחזוקה שוטפת של מערך האנרגיה על כלל רכיביו: מערך הייצור הסולארי, מערכת האגירה ומערך החשמל;
- ניהול אחזקת אמצעים וכלים לטיפול בתקלות וליקויים במערכת;
- מתן הנחיות והסמכת בעלי תפקידים נוספים שיהיו מוכשרים לתפעול המערכת בחירום;
- עדכון מנהל המתקן בתמונת המצב היומית.

7.3. פעולות שוטפות בשגרה כהיערכות לחירום

היערכות לתפקוד מיטבי וללא תקלות בשעת חירום הינה בעלת חשיבות רבה. לשם כך, נדרש להבטיח כי כבר בשגרה ייעשו פעולות אשר יעלו את רמת המוכנות והכשירות של הצוות וזאת באמצעות מערכי הכשרה, הדרכה ותרגול.

7.3.1. מילוי תיק המתקן:

ייעשה בשגרה על ידי מנהל המתקן והגורמים הנוספים האמונים על כך, תוך שילוב פרטי הקשר של הגורמים האמונים על תפעול ותחזוקת מערך האנרגיה והפעלתו בחירום. כמו כן, במידה וקיים, יצוין מיקום הציוד הרלוונטי לתפעול המערך בחירום ולטיפול שוטף בתקלות;

7.3.2 פעולות הכשרה והדרכה:

בעלי התפקידים אשר אמונים על תפעול מערך האנרגיה בשגרה ובחירום, ישולבו בפעולות ההכשרה וההדרכה שמועברות לשאר בעלי התפקידים במתקן. כמו כן, במקומות בהם נדרש, ייעשו פעולות הכשרה והדרכה ממוקדות לגורמים האמונים על תפעול מערך האנרגיה במתקן;

7.3.3 תרגול תרחישים אפשריים בשגרה ובחירום:

לרבות, תרגול ליקויים ותקלות במערכת האגירה בשגרה ובחירום, אי אספקת חשמל למבנה ואי זמינות של הגורמים המוסמכים לטיפול בתקלות.

נספח 1 – הרשות לפס"ח |

1.1. הצגת הרשות

הקמת מתקן קליטה כמרכז חוסן באנרגיה הינו תהליך רב מערכתי אשר נעשה בהובלת הרשות המקומית ובתיאום מלא עם וועדת פס"ח המקומית. הרשות מתאמת את הקמת המרכזים, כמו גם את תחזוקתם ותפעולם בחירום.

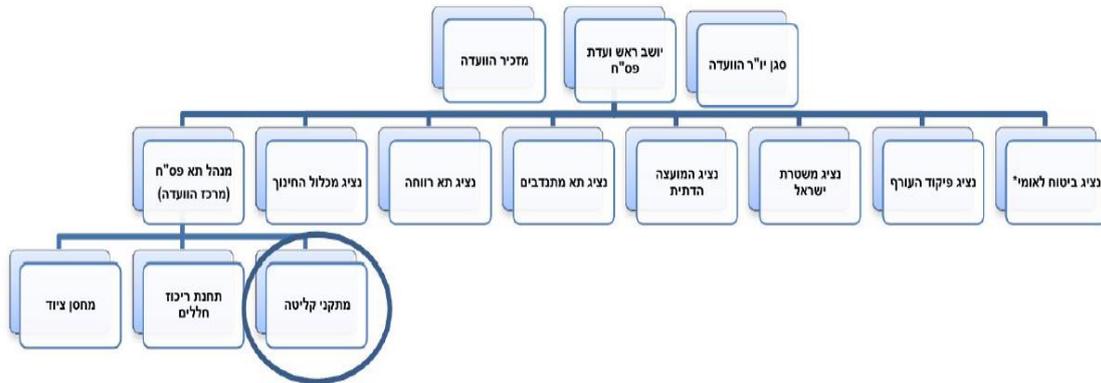
הגוף האמון על פעילות הרשויות המקומיות וכלל מתקני הקליטה לשעת חירום היא הרשות העליונה לפס"ח (פינוי, סעד וטיפול בחללים), רשות ייעודית הפועלת בשעת חירום במסגרת משק לשעת חירום (מל"ח), מנוהלת על ידי משרד הפנים ומיוצגים בה משרדי ממשלה, צה"ל או פיקוד העורף, משטרת ישראל, המרכז לשלטון מקומי וגופים ממלכתיים וציבוריים שונים, המופקדים בשעת חירום, כל אחד בתחומי אחריותו הישירה, על אותם נושאים עליהם הם מופקדים בשגרה.

לרשות העליונה לפס"ח שלוחות מחוזיות ורשויות מחוזיות אשר מנוהלות ע"י הממונה על המחוז או סגנו. הרשויות המקומיות (עיריות, מועצות מקומיות ומועצות אזוריות) הינן השלוחות המקומיות של הרשות העליונה לפס"ח כאשר במסגרת ועדת מל"ח המקומית פועלת ועדת פס"ח לקליטת מפונים ולטיפול בחללים אזרחיים.

1.2. אחריות על קליטת מפונים למתקני קליטה

ראש הרשות המקומית אחראי לקליטת מפונים אזרחיים בתחום השיפוט שלו, בין אם אלו תושבי הרשות שלו או תושבי רשויות אחרות. ראש הרשות המקומית ממנה בשגרה בעל תפקיד שיעסוק בנושא פס"ח וישמש בחירום מנהל תא פס"ח. הקשר בין מנהל מתקן קליטה לבין מנהל תא פס"ח הוא הכרחי לצורך היערכות מיטבית לחירום.

ועדת פס"ח מקומית, עוסקת בפועל בהפעלת מערך קליטת מפונים והיא ועדה שפועלת במסגרת ועדת מל"ח המקומית. כמו כן, הועדה מורכבת ממספר בעלי תפקידים מהמכלולים השונים ברשות המקומית, אשר מתכנסים לצורך עדכון וטיפול בבקשות העולות ממתקני הקליטה. להלן תרשים שממחיש את מבנה ועדת פס"ח מקומית:



1.3. הכנת תיקי תכנון במערך פס"ח

לפי נוהל מס' 11 של הרשות העליונה לפס"ח²⁴, ההיערכות לקליטת אוכלוסייה אזרחית בשעת חירום מחייבת הכנת תיקי תכנון בזמן רגיעה לגופים השונים ברמות השונות. הגופים המחויבים בהכנת תיקי תכנון הינם הרשות המקומית והרשות המחוזית לפס"ח.

ועדת פס"ח המקומית שפועלת ברשות ואמונה על קליטת המפונים, נדרשת להכין ברגיעה תיקי תכנון, ביניהם תיקי תכנון למתקני קליטה (להלן: תיק מתקן פס"ח). נוהל מס' 11 מונה את כלל המידע שנדרש להופיע בתיקי המתקן. מבין אלו: תיאור המתקן (גודל המתקן ומספר המפונים שמיועד לקלוט בחירום), תפקידי מתקן הקליטה והצרכים אותם ימלא בעת חירום, פירוט הציוד שנמצא במתקן ובעלי התפקידים בשגרה ובחירום.

על כן, תכנון מרכז החוסן באנרגיה ייעשה בהלימה עם מאפייני המתקן, ייעודו והצרכים אותם הוא מיועד לספק בחירום, כפי שאלו מפורטים בתיקי המתקן.

²⁴ נוהל מס' 11, תיקי תכנון במערך פס"ח, פברואר 2019

נספח 2 - תמצית הנחיות תכנון |

הסעיפים בנספח זה מובאים בחלקם מתוך מסמך הנחיות התכנון של עיריית תל אביב להכנה להתקנת מערכות פוטו-וולטאיות על גגות מבני ציבור, אשר מוצגות בו דרישות בסיסיות לתכנון וביצוע הכנות, המאפשרות התקנה עתידית של פאנלים סולאריים על גגות מבני הציבור בעיר²⁵. הנחיות התכנון המוצגות להלן, כמו גם הרגולציה הרלוונטית אליה מפנה סעיף 2.7, מובאים כקווים מנחים לתכנון מערכת חוסן באנרגיה ובפרט, לתכנון מערכת פוטו-וולטאיות על גגות. על כן, אין לראות הנחיות אלה כהנחיות התכנון בשלמותם.

2.1. כללי

- 2.1.1. בנספח זה מוצגות דרישות בסיסיות לתכנון וביצוע הכנות, המאפשרות התקנה עתידית של פאנלים סולאריים על גגות מבני הציבור בעיר, בצורה מיטבית ויעילה.
- 2.1.2. ההנחיות נוגעות למבני ציבור בשלב תכנון ובנייה, אך יכולות לשמש גם לבחינת האפשרויות והמשמעויות של הצבת פאנלים סולאריים על גגות מבנים קיימים.
- 2.1.3. המסמך אינו מתייחס לאופן התקנת המערכות עצמן (סידור ומיקום חלקי המערכת וכו'), אלא רק להכנות הנדרשות מראש במבנה או בפרויקט.
- 2.1.4. בפרויקטים בתכנון, על תכנית העיצוב והתכנון האדריכלי לכלול סימון שטח עבור המערכת הפוטו וולטאית על הגג.
- 2.1.5. שטח גג מינימלי לכדאיות כלכלית של התקנת מערכת פוטו וולטאית – לפחות 250 מ"ר ברוטו, על כל המבנים בפרויקט (תחת מונה חשמל אחד). פרויקטים עם שטח גג קטן יותר ייבחנו כל מקרה לגופו, בשלב תכנית העיצוב.

2.2. עקרונות למיקסום ייצור החשמל על הגגות במסגרת התכנון

- 2.2.1. יש לתכנן את המערכת כך שהפאנלים יפנו דרומה ובחשיפה מלאה שלהם, ללא הצללות, ככל הניתן.
- 2.2.2. יש לתכנן גגות ללא שיפועים מיוחדים ושאינם מעוגלים, ככל הניתן.
- 2.2.3. יש להימנע מבניית מעקות במרכזי הגגות או גגות גבוהים בין מפלסים, למניעת הצללות על הגג.

²⁵ הנחיות תכנון – הכנה להתקנת מערכות פוטו וולטאיות על גגות מבני ציבור – טיוטה (2019) עיריית תל אביב

2.2.4. יש לרכז מערכות טכניות באזור מסוים של הגג, עדיף בדופן צפונית, כדי שהגג יהיה פנוי ורצוף.

2.2.5. יש להימנע מהגבהת מעבי מזגנים במערכות מיזוג אוויר מעל 20 ס"מ, למניעת הצללות מיותרות.

2.3. איטום וקונסטרוקציה

2.3.1. יש לאטום את הגג לפני התקנת המערכות, בכדי למנוע טיפול באיטום למשך חיי המערכת.

2.3.2. מבנים עם **גגות בטון** מתוכננים לעומס של 150 ק"ג למ"ר, לכן במידה וגג הבטון הינו תקין, ניתן להתקין עליו מערכות פוטו וולטאיות במשקל של 20 ק"ג למ"ר.

2.3.3. מבנים עם **גגות קלים**:

2.3.3.1. יש לתכנן את ביסוי הגג לעומס של 100 ק"ג למ"ר לטיפול במערכת.

2.3.3.2. את קונסטרוקציית הפלדה יש לתכנן לעומסים הבאים:

- 20 ק"ג למ"ר משקל המערכת הפוטו וולטאית.
- 20 ק"ג למ"ר עומס שימושי.
- יש להתייחס לתוספת עומס הרוח לפי מיקום וגובה המבנה ושיפוע המערכות והגג.

2.4. תחזוקת המערכת

2.4.1. יש לתכנן מראש גישה נוחה לגג.

2.4.2. יש לתכנן מראש נקודת מים על הגג.

2.5. חשמל ותשתיות

2.5.1. יש להכין מקום בלוח החשמל למפסק אשר יותקן בו בעת הקמת המערכת הסולארית.

2.5.2. יש להכין שרוול נוסף שיורד מהגג ישירות ללוחות מונים או חדר חשמל ראשי, עבור העברת הכבילה המחברת את המערכת שעל הגג למונה חברת חשמל. במידה וקיים פיר בבניין, רצוי לקבוע את השרוול בפיר ולא בתוך הקירות. גודל המקום בלוח, שטח חתך כבלים, וגודל המפסק יהיו בהתאם לתקנות החשמל ולהחלטת מתכנן המתקן.

2.5.3. רצוי לתכנן מראש קיר בגג לצורך התקנת הממירים. ניתן להשתמש גם בקיר

שממילא מתוכנן בגג (פיר מעלית, הקיר עם דלת הכניסה לגג וכדומה). גודל קיר
כזה עדיף שיהיה באורך של 4 מטרים ובגובה של 1.5 מטרים, לפחות. עדיף
במיקום מוצל יחסית.

2.5.4 מונה ה"ייצור" של המערכת הפוטו וולטאית ימוקם בצמוד למונה הצריכה של
המבנה, לכן יש לתכנן מראש נישות או גומחות או חדרי חשמל עבור מונה זה,
לרבות מקור הזנה מהלוח הראשי אל המונה, ותוואי מהמונה לארון ריכוז
הממירים.

2.5.5 הלוח הראשי יגדל בהתאם למאמ"ת (מפסק אוטומטי מגנטי תרמי) הנוסף שיש
להכין.

2.5.6 יש לתכנן גומחות גדולות יותר להתממשקות בין הצרכן לחברת החשמל ותוואי
צנרות בפיתוח.

2.5.7 יש לתכנן מקור הזנה בהתאם לגודל המערכת המתוכננת על גג המבנה.

2.5.8 במידה והמערכת הפוטו וולטאית מתוכננת להיפרס על כמה גגות באותו פרויקט
(תחת אותו מונה חשמל), יש להכין תשתיות ותוואי צנרות בין המבנים לחיבור
מערך ה-DC או ה-AC, בהתאם לתכנון.

2.6. הנחיות כלליות לתכנון מערכת חוסן באנרגיה

- 2.6.1 יש להגדיר פרוגרמה, כולל השירותים החיוניים האמורים להמשיך לעבוד בזמן
הפסקת חשמל ממושכת.
- 2.6.2 יש לבצע תכנון על-ידי מהנדס חשמל בעל רישיון מתאים של מערכת החוסן
שתתחבר למערכת הסולארית.
- 2.6.3 יש לבצע תכנון מערך סוללות בעל קיבולת מתאימה, בהתאם לפרופיל צריכת
האנרגיה, קיבולת האגירה, פרק הזמן המתוכנן לעצמאות באנרגיה ומקדמי
ביטחון, ועלות הסוללות.
- 2.6.4 יש לבחור את סוג הסוללות המתאים למערכת.
- 2.6.5 יש לתכנן חדר סוללות בהתאם לטכנולוגיה, בין השאר, לפי ההנחיות הבאות:
 - גודל ועומסים קונסטרוקטיביים – על פי הנחיות היצרן.
 - שטח לחדר סוללות – במימון הרשות או שימוש בשטחי הטרסה.
 - שמירה על מרחקי בטיחות לצמצום חשיפה לקרינה, נעילת החדר בפני אנשים
בלתי מורשים.
 - אזור ותנאים סביבתיים על פי דרישות היצרן והנחיות המשרד להגנת
הסביבה.

- יש לדאוג להארקה תקינה, עדיף יציאה מהארקת היסודות של החדר.
- בכל חדר חשמל, חל חיוב שילוב למערכת גילוי וכיבוי אש של המבנה.
- יש לקחת בחשבון את מפל המתח על כבלי זרם החילופין המוביל אל לוח החשמל של הבניין ואת מפל המתח על הכבלים המחברים אל פאנלים סולאריים המזינים את המטענים.
- יש לפעול על פי כל התקנים המחייבים, הנחיות המשרד להגנת הסביבה, כיבוי אש ויועצי בטיחות.

2.7. רגולציה רלוונטית

- 2.7.1. הוראת מכ"ר (מפקח כבאות ראשי) מספר 543 - סידורי בטיחות אש במתקנים פוטו-וולטאים²⁶.
- 2.7.2. הנחיות רשות החשמל להתקנת מערכות אגירת אנרגיה בסוללות המחוברות לרשת החלוקה²⁷.
- 2.7.3. הנחיות מינהל החשמל להתקנת מתקן פוטו-וולטאי, תשע"ט – 2019²⁸.
- 2.7.4. הנחיות משרד החינוך להליך תכנון ואישור מערכות סולאריות ליצור חשמל בתחומי מוסדות חינוך²⁹.

²⁶ https://www.gov.il/he/departments/policies/directive_543

²⁷ https://www.gov.il/BlobFolder/legalinfo/hanhayot_agira_haluka/he/Files_Minhal_Hashmal_hanhayot_agira_24.03.2021.pdf

²⁸ https://www.gov.il/BlobFolder/reports/janhayot_pv_minhal_hashmal_2019/he/Files_Pirumei_Hareshurt_old_hanhayot_men

[ahel_minhal.pdf](https://www.gov.il/BlobFolder/reports/janhayot_pv_minhal_hashmal_2019/he/Files_Pirumei_Hareshurt_old_hanhayot_men_ahel_minhal.pdf)

²⁹ <https://meyda.education.gov.il/files/Bitachon/SolarPanelsInstallation.pdf>

נספח 3 – שימושים פדגוגיים במערכת החוסן |

3.1. הנכחת המערכת הסולארית

השלב הבסיסי ביותר להעלאת המודעות לשימוש באנרגיה שמש כמקור לאנרגיה נקייה ומתחדשת הוא הנכחת המערכת הסולארית. ילדים שנמצאים במבנים בהם קיימות מערכות מסוג זה צריכים להבין מה עושה המערכת ולמה. אם הם מבינים, הם יכולים לקדם נושאים אלו מחוץ לכותלי בית הספר, בביתם ובקהילה. הידיעה שקיימת מערכת סולארית על גג בית הספר בו אתה לומד יכולה לגרום לסקרנות ולעודד שיח בנושא. בנוסף, ניתן להציג את האנרגיה המיוצרת על ידי הפאנלים הסולאריים, באופן נגיש שימחיש את תהליך ייצור האנרגיה. פאנל מעוצב באופן ידידותי מציג את ייצור האנרגיה ותלוי במקום מרכזי בבית הספר. פעמים רבות, הפאנלים הסולאריים מותקנים באופן כזה שאינם נראים וקהילת בית הספר כלל אינה מודעת לקיומם. במקרים כאלו אפשר להציב פאנל אחד לדוגמה במקום שניתן לראותו, לשלבו בחצר מדעים (לשם תהיה גישה מבוקרת) ולחברו לערכת לימוד ולתצוגה באופן הבא:

- 3.1.1. יש להתקין פאנל אחד כדוגמת הפאנלים של המערכת המותקנת על הגג במקום שניתן לראותו ואף לגשת אליו באופן מבוקר. ממנו מושכים שני מוליכים אל ערכת הלמידה.
- 3.1.2. יש לקבוע אלו מכשירים יופעלו על ידי הפאנל (תאורה, מנועים, מאווררים). יש לקחת בחשבון שסה"כ הצריכה יהיה בסדר גודל של כ-200 וואט (בחישוב שלפיו 60% מהפאנל בשימוש).
- 3.1.3. יש לחבר בקר הספק סולארי וסוללה המתאימים לעומס הפאנל (ניתן להזמין באינטרנט).
- 3.1.4. יש לחבר למצגת לימודית שכוללת את כל רכיבי המערכת ומדגימה את פעילותם: סוללה, בקר הספק סולארי, מכשירים הצורכים את החשמל, ומפסק.

3.2. חקר בנושא אנרגיה סולארית

המודעות למערכת הייחודית שמותקנת בבית הספר יכולה להוות נקודת התחלה ומקור מוטיבציה לפעילות חקר בנושא אנרגיה בכלל ואנרגיה סולארית בפרט.

תרחיש חצר המדעים וערכת הלמידה שתוארה למעלה ממחישה את הפוטנציאל של המערכת לפעילות חקר.

למידה מעשית וניסויים מדעיים בנושאי אנרגיה סולארית יעזרו בהמחשה של מושג האנרגיה ובהבנת הטכנולוגיה שמרכיבה את הפאנלים. ניתן למצוא דוגמאות רבות לניסויים וללמידה פעילה בנושא,

מערכות פעילות שניתן להזמין באינטרנט ועד מערכי שיעור של סנונית בשיתוף משרד האנרגיה בנושא אנרגיה סולארית³⁰.

3.3. שימוש בדאטה של המערכת לצרכים חינוכיים

מערכת החוסן מייצרת נתונים לגבי ייצור ואגירת אנרגיה סולארית. שימוש בנתונים אלו יחד עם נתוני צריכת אנרגיה, יכולים לפתוח מגוון פעילויות ומערכים בנושא התייעלות באנרגיה ולהביא לחסכון בחשמל ובעלויות. המערך יכול להשתלב בתוכנית שפותחה על-ידי משרד האנרגיה ועיריית כפר סבא: מדריך לניהול אנרגיה בבתי ספר, 2017³¹. התכנית כוללת מערכי שיעורים בנושא הפחתת צריכת האנרגיה.

שילוב פעילויות חקר העושות שימוש בנתוני המערכת יוצר הזדמנות להקניית מיומנויות של חקירה מדעית מבוססת נתונים, כגון: ניסוח השערות ובדיקתן, איגום ושילוב נתונים ממקורות שונים, הערכת מהימנות של נתונים, שימוש בכלים סטטיסטיים והצגה ויזואלית של ממצאים מדעיים. מיומנויות אלו נכללות בתחום הדעת העולה של "מדע נתונים". כמו כן, כדי לאפשר פעילות חקר נתונים יש לספק למורים ולתלמידים ממשק דיגיטלי נגיש לנתוני המערכת.

3.4. הזדמנויות לחינוך ערכי

בתי ספר ממוקמים על פי רוב בלב השכונה ולכן מהווים מוקד טבעי להתכנסות בעת חירום. בנוסף, בתי הספר יוצרים סביבה קהילה ולכן מיקום מרכזי חוסן באנרגיה בבתי ספר יכול לחזק את החוסן הקהילתי. שילוב התלמידים בפן ההסברתי יכול להעצימם ולתת להם תחושת ביטחון בשגרה ובמקרה חירום.

כדי לאפשר שילוב תלמידים בהסברה של המערכת, חייבים לדאוג שממשק המערכת ורכיבים שבהם זה ניתן יהיו נגישים לתלמידים. דוגמא לכך ניתן לראות בית ספר "אפק" בראש העין, בית ספר שמקדם את תפיסת הקיימות ועשייה למען הקהילה. בבית הספר משולבות מערכות סביבתיות כגון תחנה מטאורולוגית ומאגר למי גשם. תלמידי בית הספר משמשים כשגרירים, מדריכים ונותנים הדרכות לגבי המערכות הללו. כפי שמסבירה דפנה רודיק, מנהלת בית הספר, "כאשר ילדים מבינים את המערכות שסביבם, ומסבירים אותם לאנשים חיצוניים – זה מחולל פלאים, מקדם את אותם ילדים שקיבלו במה, מחזק את ביטחונם העצמי ומביא אותם למקום אחר".

ממד זה של מרכז החוסן יוצר הזדמנויות לחינוך ערכי, העצמה ופיתוח מסוגלות עצמית: התלמידים יכולים לקבל תפקידים משמעותיים בעבודה מול הקהילה, בהצגה והסברה של המערכת, ובהדרכה

³⁰ מדריך למורה, לקטון אנרגיה מן השמש, סנונית
³¹ מדריך לניהול אנרגיה בבתי ספר, משרד האנרגיה, 2017

והכוונה של התושבים. הכשרת תלמידים לתפקידים שכאלה גם מקדמת פיתוח "מיומנויות רכות" או "מיומנויות המאה ה-21" כגון: עבודת צוות, תקשורת, חשיבה ביקורתית ויצירתיות.

3.5. הנחיות תכנון להטמעת תשתית טכנו-פדגוגית בפרויקט מרכז חוסן באנרגיה

- 3.5.1. כדי לאפשר את התרחישים הפדגוגיים השונים, יש לשלב במרכז החוסן תשתית אשר יכולה לשמש מורים ותלמידים בפעילויות השונות.
- 3.5.2. במידת האפשר יש לשלב את הפאנלים הסולאריים במקום שנצפה על-ידי התלמידים.
- 3.5.3. כאשר הצבת הפאנלים הסולאריים הינה במקום שאינו נצפה על-ידי התלמידים, אפשר לשלב פאנל תצוגה המחובר לערכת למידה.
- 3.5.4. מומלץ למצוא מקום מתאים לשילוב מסכי תצוגה לנתונים בתוך בית הספר.
- 3.5.5. מומלץ לספק הסברים לגבי המערכת - כולל מפרטים ושרטוטים של המערכת (שהתלמידים יוכלו לפענח ולהבין את אופן פעולתה).

3.6. המלצות לתכנון הטמעת תשתית טכנו-פדגוגית

- 3.6.1. ישנו יתרון כאשר יצור פאנלים הסולאריים נצפה על-ידי התלמידים. כאשר הצבת הפאנלים הסולאריים הינה במקום שאינו נצפה על-ידי התלמידים, אפשר לשלב פאנל תצוגה המחובר לערכת למידה.
- 3.6.2. מומלץ למצוא מקום מתאים לשילוב מסכי תצוגה לנתוני צריכת האנרגיה של בית הספר.
- 3.6.3. מומלץ לספק הסברים לגבי המערכת - כולל מפרטים ושרטוטים של המערכת (שהתלמידים יוכלו לפענח ולהבין את אופן פעולתה).
- 3.6.4. על מנת לאפשר שימוש בנתונים, יש לספק גישה נוחה לנתונים שהמערכת מייצרת, שתכלול ממשק ישיר, על בסיס פרוטוקולים ופורמטים סטנדרטיים לנתונים הגולמיים (למשל, ממשק RESTful לקבצי csv של תפוקות חשמל לפי יום ושעה), וכן תצוגה ויזואלית של הנתונים באתר ייעודי.