

התכנות להפחתת טביעת הרגל הפחמנית של מבנים בישראל – מקרה מבחן

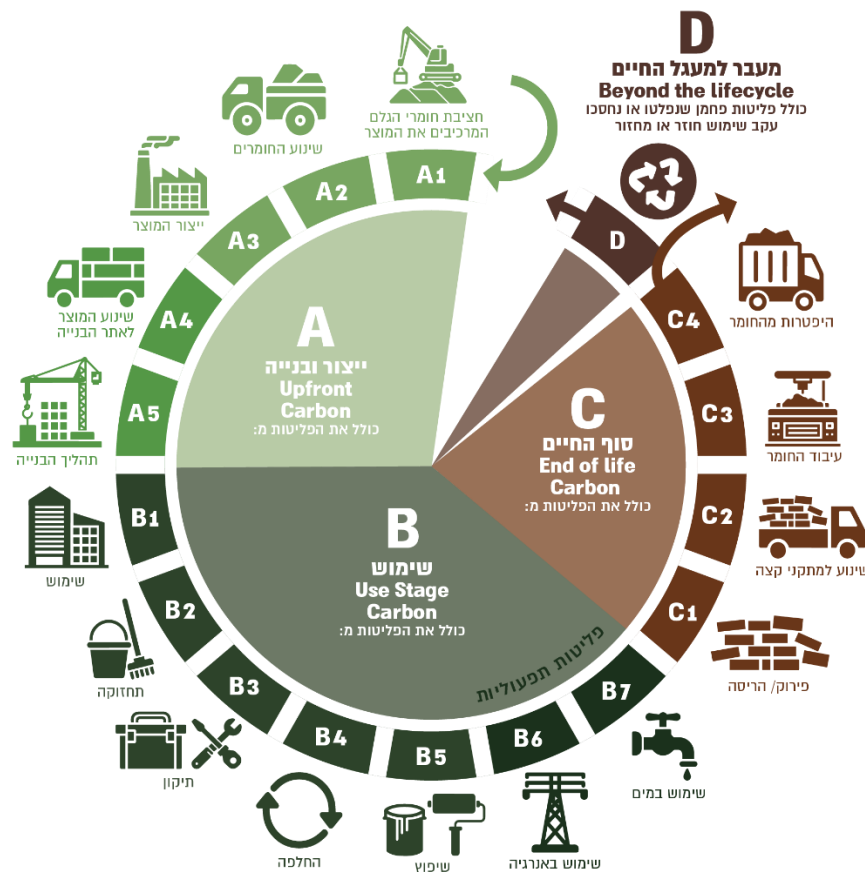
1. מטרת המסמך

מטרת המסמך היא לבחון את ההיתכנות להפחתת פליטות פחמן בסקטור הבנייה בישראל, באמצעות ניתוח מקרה בוחן פרטני של פרויקט מגורים טיפוסי. המסמך בוחן את היקף פליטות הפחמן של פרויקט שמתוכנן, נבנה ומופעל על פי פרקטיקות המקובלות כיום, ומנתח את ההפחתה הפוטנציאליות העתידית בהנחה שיוטמעו פרקטיקות חדשות שיביאו להפחתת פליטות הפחמן. בדיקת היקפי הפליטות של הפרויקט בוצעה באמצעות מתודולוגיית ניתוח מחזור חיים של מבנים (Whole Building LCA).

2. הערכת מחזור החיים של מבנים

הערכת מחזור החיים של מבנים היא מתודולוגיה מתפתחת שנועדה לשפוך אור על ההשפעות הסביבתיות מחומרי, ממוצרי ומתהליכי הבנייה והשימוש במבנים לאורך חייהם ולעודד את צמצומן. ככלל, המתודולוגיה מתייחסת לשלבים שונים (או 'יחידות תפקודיות' - Modules) במחזור החיים של מבנים. ישנם ארבעה שלבים מרכזיים במחזור החיים של מבנים: (1) ייצור; (2) בנייה; (3) שימוש ותפעול; ו- (4) סוף החיים. אלו מחולקים לתתי שלבים כפי שמתואר בתרשים:

שלבי מחזור החיים של מבנים



הערכת מחזור החיים משמשת בעיקר לכימות פליטות, קרי, חומרים המשתחררים לאוויר, למים או לאדמה בעלי השפעה שלילית על הסביבה ובריאות האדם. הדגש המרכזי ניתן לפליטות של גזי חממה (Greenhouse Gas Emissions) GHG, הגורמות להתחממות כדור הארץ ולשינויי האקלים. גזי חממה שונים נמדדים באופן יחסי לפוטנציאל חימום כדור הארץ שלהם לעומת זה של פחמן דו-חמצני, ומומרים בהתאם לכך ליחידות שוות ערך לכמות פחמן דו-חמצני המזיקה באותה המידה, כלומר שוות ערך לפחמן (CO₂ equivalent).

פליטות הפחמן נחלקות לשני סוגים: פליטות פחמן גלומות (Embodied Carbon) ופליטות פחמן תפעוליות (Building Operation). פליטות פחמן אופרטיביות מקורן באנרגיה הנצרכת על ידי משתמשי המבנה, ואילו פליטות פחמן גלומות מקורן באנרגיה המושקעת בבניית הבניין, המשקללת את גזי החממה המשתחררים לאורך כל מחזור החיים של החומרים המשמשים לבנייה. על פי המועצה העולמית לבנייה ירוקה סקטור הבנייה אחראי ל-39% מפליטות הפחמן העולמיות, 28% פליטות פחמן תפעוליות ו-11% מהן פליטות פחמן גלומות.¹

3. מתודולוגיה

הניתוח כולל שלושה שלבים:

1. בשלב ראשון בוצע ניתוח מחזור חיים לפרויקט בנייה של בניין מגורים. הניתוח כולל התייחסות לפליטות פחמן גלום, פליטות פחמן תפעוליות וליכולת ייצור החשמל ממקורות מתחדשים (קיצוז פליטות פחמן). ניתוח פליטות הפחמן הגלום בוצע באמצעות תוכנת OneClick שהיא מוכרת על ידי LEED, Breeam, DGNB וכלי מדידה נוספים לביצוע הערכת מחזור חיים למבנים. הניתוח של פליטות הפחמן התפעוליות בוצע באמצעות מידול אנרגטי. תוצר שלב זה הינו פירוט נתוני פליטות הפחמן במחזור החיים של הבניין.
2. בשלב שני בוצעה בדיקה שמטרתה להעריך את ההשפעה הסביבתית במחזור חיים של פרויקט זהה בתרחישים עתידיים, כשני עשורים מהיום (שנת 2045). לטובת הבדיקה נסקרו הדרכים המרכזיות באמצעותן ניתן להגיע להפחתת פליטות משמעותית ומקרי מבחן מהעולם. על בסיס המידע גובשו שלושה תרחישי הפחתה המבטאים כל אחד רמה שונה של התייעלות ושיפור.
3. בשלב השלישי בוצעה השוואה בין שלושת התרחישים וגובשו תובנות לגבי היקף הפחתת הפליטות הפוטנציאלי.

4. מאפייני פרויקט הבנייה

- פרויקט דיור להשכרה ארוכת טווח בשטח בנוי של 6,000 מ"ר בעיר מודיעין. גובה הבניין 11 קומות.
- הדירות מאובזרות וכוללות מוצרי חשמל (מקרר, תנור, כיריים חשמליים, מדיח כלים, מכונת כביסה ומייבש כביסה).

¹ (Link) World Green Building Council, Advancing to net zero, Bringing embodied carbon upfront.

- הפרויקט זכה לדירוג אנרגטי A+ על פי ת"י 5282. זהו דירוג אנרגטי גבוה ביחס לפרקטיקה הנפוצה בישראל.
- חומרי בנייה עיקריים: בטון, ברזל, אלומיניום, זכוכית, גבס (שלד הבניין מיציקת בטון והדירות עם קירות גבס ובידוד מצמר סלעים).
- חומרים נוספים: כבלים, צינורות, תעלות מיזוג, צבע, אסלות.

5. שלב ראשון: ניתוח מחזור חיים של הפרויקט

5.1 פליטות פחמן גלום (Embodied Carbon)

כאמור, בשלב ראשון בוצע ניתוח של פליטות פחמן גלום בשלבים שונים של מחזור החיים. הניתוח בוצע על ידי חברת 'אלפא פרויקטים ירוקים בע"מ' לאור רצונו של היזם לקבל מידע אודות טביעת הרגל הפחמנית של הפרויקט. תחולת הניתוח הוגדרה בהתאם לדרישות כלי המדידה האמריקאי LEED וכוללות את שלבי החיים הבאים: A1-A4, B4-B5, C2-C4. להלן טבלה המסכמת את תוצאות הניתוח ביחס לפליטות הפחמן הגלום ושלבי החיים:

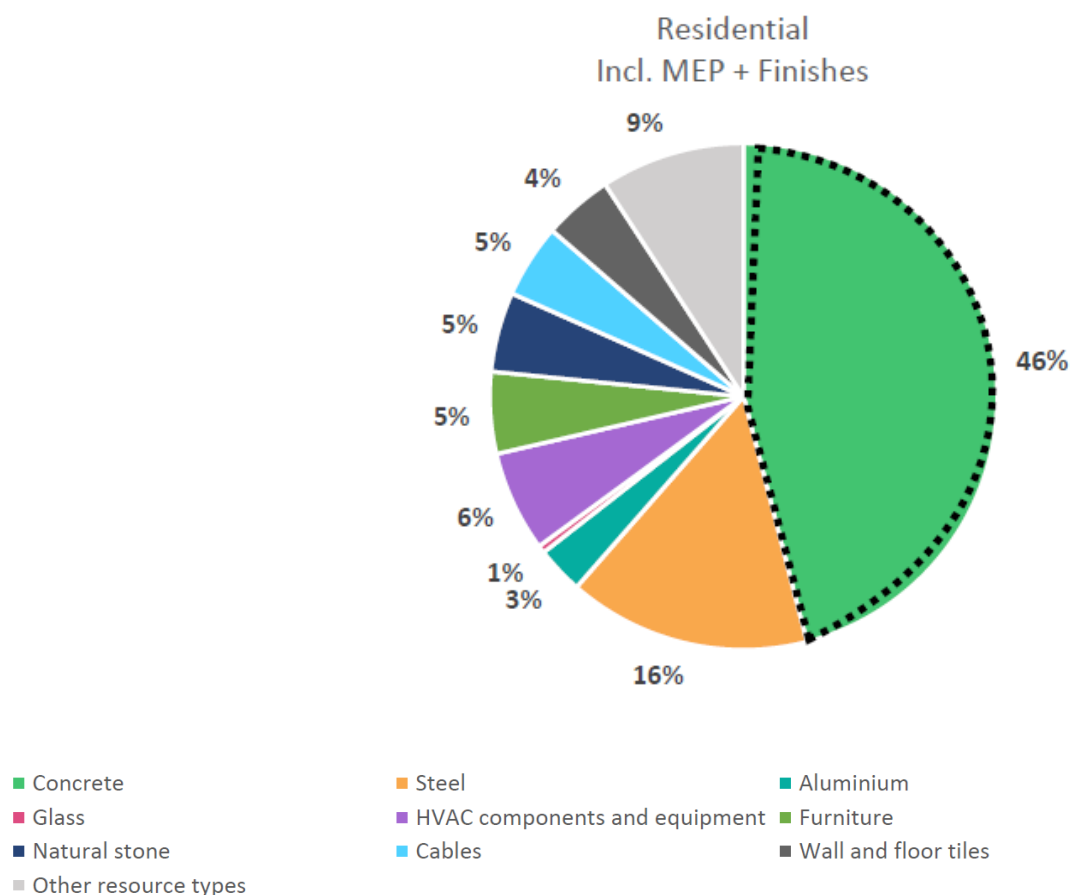
פליטות פחמן גלום מחומרים עיקריים על פי שלבי החיים של הבניין

שלב חיים	פליטות מחומרים עיקריים למ"ר (kg CO ₂ e / m ²)					סה"כ	% מסה"כ
	בטון עם 10% אפר פחם ממוחזר	ברזל 97% ממוחזר	אלומיניום 30% ממוחזר	זכוכית ללא תכולה ממוחזרת	מערכות וחומרי גמר		
A1-A3 (חציבה, שינוע למפעל, ייצור)	320.37	116.36	32.04	8.93	138.26	613.70	80%
A4 (שינוע המוצר לאתר הבנייה)	20.28	0.62	0.03	0.07	0.78	21.77	3%
B4-B5 (החלפה, שיפוץ)	0.00	2.49	6.78	0.00	99.65	108.92	14%
C2 (שינוע למתקני קצה)	7.59	6.01	0.08	0.02	0.60	14.29	2%
C3 (עיבוד החומר)	0.00	0.34	0.00	0.00	0.02	0.36	0%
C4 (היפטרות מהחומר)	6.74	0.00	0.00	0.01	0.38	7.14	1%
סה"כ	354.98	125.82	38.94	9.03	239.69	766.18	
% מסה"כ	46%	16%	5%	1%	31%		

מהניתוח עולות כמה תובנות:

- שלבים A1-A3 (חציבה, שינוע למפעל, ייצור) אחראים ל-80% מפליטות הפחמן הגלומות.

- בטון לבדו אחראי ל-46% מכלל הפליטות הגלומות. שלבים A1-A3 בבטון אחראים על 42% מסך הפליטות הגלומות.
- ברזל לבדו מהווה 16% מכלל הפליטות הגלומות וזאת על אף תכולה של 97% ברזל ממוחזר. הסיבה היא שתהליך המחזור של ברזל דורש התכה והוא תהליך עתיר אנרגיה. בנוסף, פליטות הפחמן אינן תלויות רק בתוכן הממוחזר. שלבי החיים השונים של החומר כוללים גם שינוע, עיבוד, ותהליכים נוספים – שאינם קשורים ישירות לאחוז המחזור של הברזל.
- ציוד ורכיבים של מערכות המיזוג אחראיות ל-6% מפליטות הפחמן הגלומות של הפרויקט.
- כבלים ואבן טבעית (לחיפוי המעטפת) אחראים כל אחד ל-5% מפליטות הפחמן הגלומות של הפרויקט.



5.2 פליטות פחמן תפעוליות

צריכת האנרגיה החזויה של הבניין נבדקה באמצעות תוכנה למידול אנרגטי. בהקשר זה חשוב לציין כי הפרויקט זכה לדירוג אנרגטי A+ על פי ת"י 5282 (תקן ישראלי לדירוג אנרגטי של מבנים) כך שצריכת האנרגיה הפוטנציאלית בו אמורה להיות פחותה ביחס למבנים דומים בעלי דירוג אנרגטי נמוך יותר. להלן צריכת האנרגיה השנתית החזויה עבור הבניין והמשמעות של צריכה זו בהיבט של פליטות פחמן:

פליטות פחמן למ"ר/שנה (kgCO ₂ e/m ² /yr)	פליטות פחמן (kgCO ₂ e) ²	צריכת אנרגיה (kWh/yr)	
18.4	110,255	180,745	קירור
3.3	19,750	32,377	חימום
3.5	21,071	34,543	תאורה
14.8	88,668	145,357	חימום מים
40	239,744	393,022	סה"כ

5.3 ייצור אנרגיה בבניין

בפרויקט לא הותקנו אמצעים לייצור אנרגיה ממקורות מתחדשים כלל. אמנם ישנה כיום טכנולוגיה מוכחת להתקנת פאנלים סולאריים במבני מגורים, אך אתגרים שונים מקשים על היישום בפועל. בין האתגרים: שטחי גגות קטנים יחסית שאינם מאפשרים ייצור בהיקפים גבוהים, סוגיות של תפעול ותחזוקה של המערכות, יחסי עלות-תועלת שלא נתפסים כמספיק אטרקטיביים ובעלות מבוזרת המאפיינת בנייני מגורים משותפים.

לטובת מחקר זה בוצע ניתוח של יכולת ייצור האנרגיה התאורטית של הבניין. לצורך כך נלקחו בחשבון שטחי הגג ושטחי החזית הדרומית. עבור הגג הונחה יכולת ייצור בשטח של 275 מ"ר שמהווה כמחצית משטח הגג בפועל. עבור החזית הדרומית הונח ייצור בשטח של 850 מ"ר שמהווה כ-50% משטח החזית. על פי תוצאות הניתוח קיים פוטנציאל ייצור של כ-169 אלף קילוואט שעה בשנה, שמשמעותו קיזוז של כ-35% מכלל צריכת האנרגיה בבניין או קיזוז של כ-35% מהפליטות התפעוליות.

ייצור אנרגיה פוטנציאלי בבניין³

ייצור חשמל מוערך בשנה (kWh/year)	גודל מערכת (kw)	סה"כ שטח (מ"ר)	
61,600	39	275	PV על הגג
107,500	119	850	BIPV בחזית הדרומית
169,100			סה"כ

6. שלב שני: הערכת ההשפעה הסביבתית במחזור חיים של פרויקט עתידי

בשלב זה בוצעה בדיקה שמטרתה להעריך את ההשפעה הסביבתית במחזור חיים של פרויקט זהה בתרחישים עתידיים, כשני עשורים מהיום (שנת 2045). לטובת הבדיקה נסקרו הדרכים המרכזיות באמצעותן ניתן להגיע להפחתת פליטות ונבדקו דוגמאות ממקרי מבחן בעולם. על בסיס המידע גובשו שלושה תרחישי הפחתה המבטאים כל אחד רמה שונה של התייעלות ושיפור.

6.1 פליטות פחמן גלום

² על פי מקדמי פליטת גזי החממה בהתייחס לתחנות הכוח של חברת החשמל לישראל בלבד, כפי שמתפרסמים בדין וחשבון הסביבתי של חברת החשמל. פליטות גזי חממה בגרם לקוט"ש נטו עומד על 610 נכון לשנת 2023 (610 gCO₂/net kWh). (קישור)
³ לגבי מערכות ה-PV על הגג הונח נצילות של 22% עם הספק של 1,600 קוט"ש לקילוואט מותקן. לגבי מערכות ה-BIPV בחזית הדרומית הונח נצילות של 12% בהספק של 900 קוט"ש לקילוואט מותקן.

6.1.1 דרכים להפחתת פליטות פחמן גלום

באופן עקרוני ישנן כמה דרכים בולטות להפחתת פליטות פחמן גלום במבנים. הטמעה של שילוב כזה או אחר של הדרכים הללו צפויה להוביל להיקפים משתנים של הפחתת פליטות פחמן גלום בעתיד:

שינוי/שיפור חומרי הבנייה: גורם מרכזי לפליטות פחמן גלום הם חומרי הבנייה. ענף הבנייה בישראל מבוסס על שימוש בחומרים עתירי-פליטות, בעיקר בטון. קיימות ומתפתחות חלופות לבנייה עם חומרים דלי-פחמן, ועם מוצרים המכילים כמות חומרים פחותה (כמו לוח"דים למשל), אך מעבר זה דורש שינוי כולל בענף הבנייה ובשיטות הבנייה הנהוגות בישראל. למרות המורכבות בשינוי חומרי הבנייה, ספרות המחקר מציעה כלי מדיניות שעשויים לתמרץ את השוק להשתמש בחומרים דלי-פחמן. לדוגמה, מדינות מערב אירופה וסקנדינביה מתמרצות בנייה באמצעות עץ מהונדס (CLT) וחומרים דלי-פחמן אחרים.

שיפור תהליכי הייצור של החומרים: כך למשל ניתן לעשות שימוש בבטון ירוק שהוא חומר שנועד להפחית את ההשפעה הסביבתית השלילית של ייצור ושימוש בבטון. הוא כולל תחליפים לחומרי גלם מסורתיים, תהליכי ייצור מופחתי פליטות, ושימוש חוזר בחומרים ממוחזרים. כיום, עלויות הייצור של הבטון הירוק גבוהות יותר, בעיקר בשל תהליכי פיתוח חדשניים. כמו כן נדרשות עוד התאמות טכניות כדי לעמוד בתקנים של תכנון ובנייה. קושי נוסף הוא זמינות מוגבלת של חומרים ממוחזרים באיכות גבוהה.

הטמעת פרקטיקות בנייה חדשניות: רב הבניה בישראל מבוססת על יציקות שלד בטון ובלוקים באתר הבניה וגמר בעבודות הדבקה ומריחה הכרוכות בעבודה ידנית רבה (טיח, צבע, וכדומה). בחלק מהפרויקטים מתבצע שימוש עודף בבטון גם במקרים שבהם אין צורך קונסטרוקטיבי לכך. בשנים האחרונות מתפתחות טכנולוגיות אופטימיזציה בחומרים ושיטות בנייה חדשניות ומדויקות שתורמות לצמצום השימוש העודף בחומרים עתירי-פליטות (בנייה מתועשת, בנייה מודולרית, בנייה קלה משלד פלדה, בנייה מעץ, הדפסה בתלת-ממד). חלקים ורכיבי מבנה מיוצרים במפעל מראש על פי דרישות הפרויקט, כך שההסתמכות על עבודת כפיים של הפועל באתר הבנייה פוחתת. במקרים מסוימים, ניתן לייצר את כלל יחידות המבנה במפעל ונותר רק להרכיבן באתר. ישראל הרחק מאחור בהיבט זה. לשם הדוגמה, בבחינת מקרה מבחן בעיר טורונטו הוכח כי בבניין מגורים המבוסס על שלד פלדה צומצמו פליטות הפחמן הגלומות ב-20% ביחס לאותו מבנה מבוסס בטון.⁴

שימוש בחומרי בנייה שניתנים במלואם לשימוש חוזר או למחזור: כגון פלדה למשל, אשר בניגוד לחומרים אחרים כגון בטון או עץ ניתן לעשות בהם שימוש חוזר במלואם במקרה של פירוק הבניין בסוף חייו או לשימוש חוזר במקרה שלא ניתן לפרק את הבניין למרכיבים.

ניצול חומרי בנייה שנותרים ללא שימוש: כמות חומרי הבנייה שלא נעשה בהם שימוש ונהפכים לפסולת באתר הבנייה מוערכת ב-20 טונות פסולת בממוצע לדירה בשטח של 100 מ"ר.⁵ צמצום הפסולת באתר הבנייה יושג באמצעות אופטימיזציה בשימוש בחומרים, ויוביל גם לצמצום פליטות הפחמן המגולם. פתרונות לבעיה זו עשויים להיות שינויים בשיטות הבנייה (למשל שיטות בנייה מודולריות שמצמצמות את כמות הפסולת) או טיוב הניהול באתר הבנייה.

ניצול יעיל יותר של פסולת בנייה: פסולת בנייה נוצרת בשלבים שונים של מיזמי בנייה – החל משלב הכנת השטח, דרך שלבי הבנייה עצמה, ועד לשיפוצים, לפירוק או להריסה של מבנים קיימים. פסולת בניין

⁴ (Link) Steligence, 22-Storey High-Rise Residential Building Case Study

⁵ נדב פלדי, קידום כלי מדיניות למדידה ולהפחתה של הפחמן המגולם בענף הבנייה בישראל, מרכז מילקן לחדשנות, 2022. (קישור)

מורכבת מחומרים רבים ומגוונים ובהם בטון, אספלט, בלוקים, קרמיקה, מתכת, עץ, זכוכית, פלסטיק, גבס ועוד. כמות פסולת הבניין בישראל נאמדת ב-7 מיליון טונות בשנה. הדרכים העיקריות לטיפול בפסולת בנייה הן מניעה (למשל באמצעות טכניקות בנייה המפחיתות את כמות פסולת הבניין) או מחזור ושימוש חוזר. כיום חלק גדול מהפסולת עדיין מועבר להטמנה (כ-30%), ואילו כ-15% מהפסולת כלל לא מגיעה לאתרים מורשים.⁶

שימוש באנרגיה מתחדשת בתהליכי הייצור: בשנים האחרונות גבר במידה רבה קצב ייצור החשמל ממקורות אנרגיה מתחדשים. נכון לסוף 2022, סך הספק המותקן של אנרגיות מתחדשות בישראל היה 4.5 ג'יגהוואט.⁷ יחד עם זאת, קיים עוד פוטנציאל רב להתקנת מערכות לייצור אנרגיות מתחדשות במפעלים ובמתקני הייצור. השימוש באנרגיות מתחדשות בתהליכי הייצור של חומרי הבנייה יביא לצמצום פליטות הפחמן הגלום במוצרים הבנייה.

6.1.2 מקרי מבחן להפחתת פליטות פחמן גלום

א. מדריך שפורסם על ידי ה-London Energy Transformation Initiative בשנת 2017 גיבש הנחיות לתכנון מבנים בעלי השפעה סביבתית מופחתת במטרה לעמוד ביעדים סביבתיים. על פי מסמך זה ממוצע פליטות הפחמן הגלומות למ"ר במגזר המגורים בלונדון נאמד ב-800 ק"ג פחמן למ"ר ($\text{kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$). מספר זה מהווה קו הבסיס שביחס אליו יש לחשב את מידת ההפחתה. על פי המסמך, כבר בעת כתיבתו ניתן להגיע למבנים משופרים בהם היקף פליטות הפחמן הגלום אינו עולה על 500 ק"ג פחמן למ"ר ($\text{kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$), קרי הפחתה של 40% ביחס לקו הבסיס. עבור שנת היעד 2030 המסמך מגדיר כיעד השגת הפחתה של 65% ביחס לקו הבסיס שמשמעותו פליטות פחמן גלום של 300 ק"ג פחמן למ"ר ($\text{kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$).⁸

ב. מחקר שנערך על ידי חברת BDP Quadrangle בטורונטו, בחן את פליטות הפחמן הגלום בארבעה פרויקטים של החברה באזור טורונטו רבתי. מדובר בפרויקטי מגורים בגובה 20-45 קומות הכוללים 1285-196 יחידות דיור. החברה פועלת להפחתת טביעת הרגל הפחמנית בפרויקטים שלה במטרה לעמוד ביעדים הסביבתיים שנקבעו על ידי הרשות העירונית. על פי המחקר, היקף פליטות הפחמן הגלום למ"ר בפרויקטים נע בין 306-359 ק"ג פחמן למ"ר ($\text{kg CO}_2\text{e} / \text{m}^2$). שלושה מהפרויקטים עומדים ביעד הוולונטארי שהוצב על ידי טורונטו שעומד על לא יותר מ-350 ק"ג פחמן למ"ר. על פי המסמך, האסטרטגיה התבססה על שימוש בחומרים קיימים במקום בחומרים חדשים, שימוש בחומרים דלי פחמן, הימנעות מבניית מרפסות, ושימוש ברכיבים מתועשים שמצריכים רק הרכבה באתר.⁹

ג. מחקר אחר שנערך בטורונטו העריך את הפחמן הגלום במבנים שונים ובחן גישות לבנייה דלת פחמן. במסגרת המחקר נבחנו שיטות בנייה שונות ביחס לבניין טיפוסי בן 40 קומות שהיווה קו בסיס להשוואה. בבניין הטיפוסי הפחמן הגלום נאמד ב-421 ק"ג למ"ר כאשר עיקר הפחמן הגלום מקורו בשלבי החציבה, השינוע וייצור החומרים A3-A1 (352 ק"ג למ"ר) ובשלב הבנייה A5 (46 ק"ג למ"ר).

⁶ נתוני המשרד להגנת הסביבה (קישור)

⁷ נתוני המשרד להגנת הסביבה (קישור)

⁸ LETI Climate Emergency Design Guide (Link)

⁹ RJC Engineers & BDP Quadrangle, Embodied Carbon in Residential Structures: A Toronto based case study. (Link)

תוצאות הבחינה של שיטות הבנייה השונות שימשו לקביעת מסלולי תכנון ובנייה דלי פחמן עבור הפרויקט. בסיכומו של דבר נמצא כי ב'מסלול מעשי' ניתן להגיע להפחתה של 28% בפליטות הפחמן הגלום (להגיע ל-304 ק"ג למ"ר) וב'מסלול אידיאלי' ניתן להגיע להפחתה של 35% (273 ק"ג למ"ר).¹⁰

6.1.3 גיבוש תרחישים עתידיים להפחתת פליטות פחמן גלום

לטובת ניתוח היקף פליטות הפחמן הגלום העתידיות גובשו שלושה תרחישים תאורטיים שנבדלים על פי מידת ההטמעה של הדרכים להפחתת פליטות שתוארו לעיל ועל בסיס המידע ממקרי המבחן שנסקרו. להלן שלושת התרחישים לשנת היעד 2045:

א. תרחיש 'המשך עסקים כרגיל': התרחיש הראשון משקף המשך של 'עסקים כרגיל' הכולל מגמות התייעלות ושיפור איטיות ללא פעילות אקטיבית משמעותית של השחקנים השונים בשוק. המשך פרקטיקות הבנייה הקיימות תוך הטמעה איטית של פרקטיקות בנייה חדשניות ויעילות, התייעלות איטית בתהליכי הייצור של החומרים, הטמעה איטית של חומרים דלי פחמן כדוגמת בטון 'ירוק' ושימוש חוזר בפסולת בנייה, ועלייה איטית בייצור אנרגיה ממקורות מתחדשים. סה"כ היקף פליטות פחמן גלום של 600 ק"ג למ"ר המבטא הפחתה של 22% ביחס לנתוני הפליטות בפרויקט במצב הקיים.

ב. תרחיש 'פעילות התייעלות ושיפור מתונה': התרחיש השני משקף מגמת התייעלות ושיפור מובהקת יותר הכוללת גם מאמץ אקטיבי משמעותי של חלק מהשחקנים השונים בשוק או מאמץ מתון מצד כל השחקנים. הדבר בא לידי ביטוי בשילוב גדול יותר של פרקטיקות בנייה חדשניות ודלות פחמן, יחד עם התייעלות בתהליכי הייצור של החומרים, שימוש חוזר כמעט מלא בפסולת הבנייה וגידול משמעותי יותר בחשמל המיוצר ממקורות מתחדשים. סה"כ היקף פליטות פחמן גלום של 400 ק"ג למ"ר המבטא הפחתה של 48% ביחס לנתוני הפליטות בפרויקט במצב הקיים.

ג. תרחיש 'פעילות התייעלות ושיפור משמעותיות': התרחיש השלישי משקף מצב של התייעלות ושיפור משמעותיים בעקבות מגוון פעולות אקטיביות של שחקנים שונים בשוק הבנייה. הטמעה רחבת היקף של פרקטיקות בנייה חדשניות ודלות פחמן, התייעלות רחבת היקף של תהליכי הייצור של החומרים, שימוש חוזר מלא בפסולת הבנייה ושיעור גבוה של חשמל המיוצר ממקורות מתחדשים. סה"כ היקף פליטות פחמן גלום של 200 ק"ג למ"ר המבטא הפחתה של 74% ביחס לנתוני הפליטות בפרויקט במצב הקיים.

תרחישי הפחתת פליטות פחמן גלום

פליטות פחמן גלום (ק"ג למ"ר)	מצב קיים	תרחיש א'	תרחיש ב'	תרחיש ג'
766.18	600	400	200	
-	22%	48%	74%	
הפחתה				

6.2 פליטות פחמן תפעוליות

פליטות פחמן תפעוליות הן פליטות שמקורן באנרגיה הנצרכת על ידי משתמשי המבנה. ככלל ניתן לציין כי בניגוד לפליטות הפחמן הגלום, אשר זכו לתשומת לב בעיקר שנים האחרונות, המאמץ לפעול לצמצום פליטות הפחמן התפעוליות מתקיים בעולם כבר מזה 2-3 עשורים, ובישראל בעיקר בעשור האחרון.

6.2.1 דרכים להפחתת פליטות פחמן תפעוליות

ישנן כמה דרכים בולטות להפחתת פליטות פחמן תפעוליות במבנים. הטמעה של שילוב כזה או אחר של הדרכים הללו צפויה להוביל להיקפים משתנים של הפחתת פליטות פחמן תפעוליות בעתיד.

תכנון ובנייה פאסיביים ומודעי אקלים: תכנון ובנייה שמטרתם להקטין את כמות האנרגיה התפעולית הדרושה בתקופת חיי המבנה בעיקר עבור איקלים אך גם עבור תאורה. חסכון באנרגיה מושג על ידי תכנון מיטבי של הבניין מבחינת בידוד (קירות, גגות, פתחים), הפניות, תכנון פתחים וחלונות בהתאם לחזיתות וכיוון השמש, שימוש בהצללות, ועוד. מטרת התכנון הפאסיבי היא בין השאר לקלוט ולשמור על החום בעונה הקרה, למנוע כניסה של חום בעונה החמה, ולאפשר תאורה טבעית. תכנון ובנייה פאסיביים ומודעי אקלים מחייבים ביצוע של ניתוחים ובדיקות לאורך שלבי התכנון והבנייה לטובת השגת אופטימיזציה של התועלות האפשריות.

התייעלות של המערכות: הכוונה להתייעלות של מערכות מיזוג האוויר, גופי התאורה ומערכת חימום המים. תהליך התייעלות משמעותי מתקיים מזה כמה שנים כך שהמערכות הופכות יותר ויותר יעילות. תהליך ההתייעלות מקורו בגיבוש מדיניות, התקנת תקנות מחייבות ובהכרה של הצרכנים בתועלות הכלכליות ארוכות הטווח. כך למשל מערכות מיזוג האוויר הולכות ומפיקות יותר יחידות קירור מכל יחידת אנרגיה, גופי התאורה הפכו יעילים מאוד ביחס לגופי תאורה בעבר (גופי LED לעומת נורות ליבון למשל) ומערכות חימום המים משתפרות גם הן. יחד עם זאת, צריכת האנרגיה על איקלים, ובמיוחד קירור בקיץ, היא עדיין מאוד משמעותית. כמו כן יעילות המערכות תלויה גם בתחזוקה השוטפת שלהן כדוגמת ניקוי הפילטרים במזגנים או מניעת היווצרות אבנית בגופי חימום המים. המשך המאמצים הרגולטיביים יחד עם התפתחות טכנולוגיה שתסייע לייעל עוד יותר את המערכות ולוודא תחזוקה אופטימלית שלהן תתרום להפחתה משמעותית נוספת של צריכת אנרגיה ופליטות פחמן נלוות.

סינרגיה בין מערכות: דרך נוספת לייעל ולייצר אופטימיזציה היא באמצעות סינרגיה בין מערכות. כך למשל ניתן לעשות שימוש בחום שיורי ממערכת המיזוג למשל לטובת חימום מים. כיום המערכות מתפקדות באופן עצמאי ובמנותק אחת מהשנייה. יחד עם זאת קיימות טכנולוגיות שמסייעות לבצע סינרגיה בין מערכות ולהגדיל את היעילות האנרגטית הכוללת. טכנולוגיות אלו אינן מיושמות עדיין בשוק המגורים אלא בעיקר בתעשייה.

מערכות בקרה חכמות לניהול צריכת אנרגיה ביתית: מערכות ניהול ובקרה מיושמות גם הן בעיקר בתעשייה ובמבנים מסחריים. על פניו, יש בכוחן של מערכות בקרה המותאמות למגזר המגורים כדי לייצר אופטימיזציה של צריכת האנרגיה ביחידות המגורים. טכנולוגיות 'בית חכם' לסוגיהן מהוות הטמעה ראשונית של מערכות בקרה וניהול. ניתן להניח כי התפתחות טכנולוגיות הבקרה יחד עם הטמעה רחבה יותר שלהן במגזר המגורים תביא להפחתה משמעותית בצריכת האנרגיה ובפליטות התפעוליות הנלוות.

העלאת מודעות ושינוי התנהגות הצרכנים: ניתן לחלק התנהגויות המקושרות לצריכת אנרגיה במשקי בית לשניים - התנהגות שמטרתה התייעלות אנרגטית כמו רכישת מכשירי חשמל יעילים יותר או החלפת

גופי תאורה, והתנהגות לחיסכון באנרגיה. חלק מהפעולות החסכוניות באנרגיה כרוכות בהתנהגויות חד פעמיות, כמו כיוון בקר הטמפרטורה במערכת המיזוג בחדר, ואילו אחרות כוללות התנהגויות הדורשות פעולות יומיומיות ושינוי באורחות החיים כמו ייבוש הכביסה על חבל במקום במייבש או הימנעות מהשארת מכשירים ומטענים מחוברים לחשמל ללא צורך.

התייעלות של משק האנרגיה הארצי: נושא זה אינו קשור לבניין עצמו אלא למשק האנרגיה כולו. במשק האנרגיה הישראלי חלו התפתחויות רבות בשנים האחרונות הכוללות צמצום השימוש בפחם, מעבר לגז, הגדלת ייצור האנרגיה ממקורות מתחדשים וביזור ייצור החשמל. ממשלת ישראל קבעה כיעד שעד שנת 2030 כ-30% מייצור החשמל יהיה ממקורות מתחדשים, בעיקר סולארי. העמידה ביעד זה עוד נראית רחוקה, אך התהליכים הללו הביאו לירידה יחסית בפליטות גזי החממה בחישוב של גרם לקוט"ש נטו מ-726 גרם פחמן לקוט"ש נטו בשנת 2010 ל-610 גרם פחמן לקוט"ש נטו בשנת 2023. המשמעות היא שעבור אותה כמות של צריכת חשמל, היקף הפליטות ירד. תהליך זה צפוי להימשך ששיעור ייצור האנרגיה ממקורות מתחדשים יעלה ושיעור ייצור האנרגיה ממקורות מזהמים יפחת.

6.2.2 מקרי מבחן להפחתת פליטות פחמן תפעוליות

חשוב לציין כי בכל הקשור לפליטות פחמן תפעוליות קיים שוני משמעותי בין מקומות שונים בעולם בהתאם למיקום של המבנה, האקלים, מאפייני הבנייה ותמהיל מקורות האנרגיה (פחם, נפט, גז, אנרגיות מתחדשות) של תשתית החשמל. היקף פליטות הפחמן התפעוליות מושפע באופן ישיר מסוג מקור האנרגיה. כך למשל יתכן מבנה המתוכנן באופן שאינו מיטבי ושב פועלים מכשירי חשמל רבים שאינם יעילים אך הוא ניזון ממקורות אנרגיה מתחדשים בלבד. במבנה כזה יהיו קרוב לאפס פליטות פחמן תפעוליות. לעומת זאת יתכן מבנה שנבנה באופן יעיל ופועלות בו מערכות יעילות וחסכוניות אך האנרגיה בו מקורה כולה בשריפת פחם. פליטות הפחמן האופרטיביות בו יהיו גבוהות יותר. השגת איפוס פחמן, או יותר מכך, הגעה לפחמן חיובי, יושב גם אסטרטגיות התייעלות וגם עלייה בייצור אנרגיה ממקורות מתחדשים.

באשר לאמות מידה להפחתת פליטות פחמן תפעוליות, להלן דוגמאות מהעולם:

א. התקן הירוק של טורונטו (Toronto Green Standard) מופעל משנת 2010 והוא כולל דרישות לבנייה בת קיימא עבור פרויקטים חדשים בתחום העיר. גרסת התקן הנוכחית היא גרסה 4 שנכנסה לתוקף במאי 2022 עבור בקשות חדשות להיתר. התקן מורכב מדרישות בכמה רמות ביצוע כאשר רמה 1 היא חובה ורמות 2-4 הן וולונטאריות (עמידה בהן מזכה בתמריצים). הדרישה המחייבת כיום עבור פליטות אנרגיה תפעוליות עבור כלל מבני המגורים החדשים עומדת על מקסימום של 15 ק"ג פחמן למ"ר לשנה. הדרישה הוולונטארית עבור רמות 2-4 עומדת על 0-10 ק"ג פחמן למ"ר לשנה. בשנת 2028 הדרישה המחייבת צפויה לעמוד על 5 ק"ג למ"ר לשנה. חשוב לציין כי התקן מאפשר קיזוז של פליטות הפחמן התפעוליות באמצעות ייצור אנרגיה ממקורות מתחדשים במגרש או באמצעות רכישת אנרגיה ממקורות מתחדשים מחוץ למגרש, כך שבפועל היקף הפליטות התפעוליות ללא הקיזוז יכול להיות גבוה יותר.¹¹

ב. אתגר האקלים של ה-Royal Institute of British Architects לשנת 2030 קובע סדרה של יעדים לאימוץ שיטות בנייה להפחתת אנרגיה תפעולית. בהתאם לעבודת מחקר שנעשתה על ידי המכון

נקבע קו הבסיס עבור צריכת האנרגיה במבני מגורים במצב הקיים על 120 קוט"ש למ"ר לשנה. המשמעות מבחינת פליטות, בתרגום למציאות הישראלית, היא 73 ק"ג פחמן למ"ר לשנה.¹² היעד הבריטי לשנת 2025 נקבע על 36 ק"ג פחמן למ"ר לשנה והיעד לשנת 2030 נקבע על 21 ק"ג פחמן למ"ר לשנה. יעדים אלו כוללים קיזוז מייצור של מקורות אנרגיה מתחדשים בבניין.¹³

6.2.3 גיבוש תרחישים עתידיים להפחתת פליטות פחמן תפעוליות

לטובת ניתוח היקף פליטות הפחמן התפעוליות העתידיות גובשו שלושה תרחישים תאורטיים שנבדלים על פי מידת ההטמעה של הדרכים להפחתת פליטות שתוארו לעיל ועל בסיס המידע ממקרי המבחן שנסקרו. להלן שלושת התרחישים לשנת היעד 2045:

א. תרחיש 'המשך עסקים כרגיל': התרחיש הראשון משקף המשך של 'עסקים כרגיל' הכולל מגמות התייעלות ושיפור איטיות ללא פעילות אקטיבית משמעותית של השחקנים השונים בשוק. המשך הטמעה איטית של פרקטיקות תכנון ובנייה פאסיביות ומודעות אקלים, התייעלות איטית של מערכות, קידום איטי של טכנולוגיות סינרגיה בין מערכות ושימוש מסוים במערכות בקרה וניהול חכמות. כמו כן הוא לוקח בחשבון הגדלה איטית ומוגבלת של שיעור ייצור האנרגיה ממקורות מתחדשים. סה"כ היקף פליטות פחמן תפעוליות של 32 ק"ג למ"ר/שנה המבטא הפחתה של 20% ביחס לנתוני הפליטות בפרויקט במצב הקיים.

ב. תרחיש 'פעילות התייעלות ושיפור מתונה': התרחיש השני משקף מגמת התייעלות ושיפור מובהקת יותר הכוללת גם מאמץ אקטיבי משמעותי של חלק מהשחקנים השונים בשוק או מאמץ מתון מצד כל השחקנים. הדבר בא לידי ביטוי בשילוב והטמעה רחבים יותר של פרקטיקות תכנון ובנייה פאסיביות ומודעות אקלים, התייעלות מהירה יותר של מערכות, קידום והטמעה של טכנולוגיות היוצרות סינרגיה בין מערכות וקידום והטמעה רחבה יותר של טכנולוגיות ניהול ובקרה. כמו כן הוא לוקח בחשבון הגדלה מתונה של שיעור ייצור האנרגיה ממקורות מתחדשים. סה"כ היקף פליטות פחמן תפעוליות של 24 ק"ג למ"ר/שנה המבטא הפחתה של 40% ביחס לנתוני הפליטות בפרויקט במצב הקיים.

ג. תרחיש 'פעילות התייעלות ושיפור משמעותיות': התרחיש השלישי משקף מצב של התייעלות ושיפור משמעותיים בעקבות מגוון פעולות אקטיביות של שחקנים שונים בשוק הבנייה. הטמעה רחבת היקף של פרקטיקות תכנון ובנייה פאסיביות ומודעות אקלים, התייעלות גבוהה של מערכות, קידום והטמעה רחבים של טכנולוגיות סינרגיה בין מערכות, ושימוש רחב היקף במערכות בקרה וניהול חכמות. כמו כן הוא לוקח בחשבון הגדלה משמעותית בשיעור ייצור האנרגיה ממקורות מתחדשים הכולל עמידה ביעדי המדינה (30% עד 2030) ומעבר לכך.¹⁴ סה"כ היקף פליטות פחמן תפעוליות של 16 ק"ג למ"ר/שנה המבטא הפחתה של 60% ביחס לנתוני הפליטות בפרויקט במצב הקיים.

¹² על פי מקדמי פליטת גזי החממה בהתייחס לתחנות הכוח של חברת החשמל לישראל כפי שמתפרסמים בדיון וחשבון הסביבתי של חברת החשמל, פליטות גזי חממה בגרם לקוט"ש נטו עומד על 610 גרם נכון לשנת 2023.

¹³ RIBA 2030 Climate Challenge, Version 2, 2021. ([Link](#))

¹⁴ יש לציין כי על פי מפת הדרכים למשק אנרגיה דל פחמן לשנת 2050 של משרד האנרגיה, אחוז גבוה (מעל 30%) של אנרגיה מתחדשת בתמהיל הייצור כרוך באתגרים רבים הנוגעים בין השאר בהיבטים תכנוניים, סביבתיים, פיננסיים, ובעיקר ביציבות ושרידות מערכת החשמל, קצב התקדמות טכנולוגיות האגירה ומציאת שטחים לצורך הקמת מערכות סולאריות. ([קישור](#))

מציב קיים	תרחיש א'	תרחיש ב'	תרחיש ג'
40	32	24	16
-	20%	40%	60%
פליטות פחמן תפעוליות (ק"ג למ"ר/שנה)			
שיעור הפחתה			

6.3 ייצור אנרגיה בבניין

6.3.1 דרכים להגדלת ייצור אנרגיה ממקורות מתחדשים בבניין

עלייה ביעילות מערכות לייצור אנרגיה סולארית: עלייה ביעילות המערכות הסולאריות מגדילה את היכולת לייצר כמות גדולה יותר של אנרגיה בתא שטח בגודל זהה. ככלל, היעילות של מערכות סולאריות מתבטאת בכמות האנרגיה מהשמש שניתן להמיר, באמצעות תאים פוטו-וולטאים, לחשמל. בהקשר זה יש לבחון את יכולת הנצילות של התאים או הלוחות הסולאריים. בשנות ה-50 של המאה הקודמת התאים הפוטו-וולטאים המירו רק כ-6% מאור השמש לחשמל. עם זאת, מחקר ופיתוח מתמשכים הובילו להתקדמות מתמדת. בשנות ה-90 הושגה יכולת המרה של 14-15%, וכיום יכולת זו מגיעה ליעילות של כ-22%-23%¹⁵ טכנולוגיות ופיתוחים חדשים צפויים להגדיל עוד יותר את יעילות המרת האנרגיה לכדי למעלה מ-30%¹⁶. משתנים מרכזיים נוספים המשפיעים על תפוקת מערכות סולארית הם: שעות אור השמש, מפנה הגג (מפנה דרומי בישראל הוא האידאלי), מאפייני הגג, אובייקטים ומערכות על הגג, הצללות ממבני סמוכים, תחזוקה וניקוי שוטפים של הלוחות הסולאריים, מאפייני רכיבי המערכת ועוד. עוד חשוב לציין כי לאורך השנים חלה ירידה משמעותית בעלות של המערכות הסולאריות כך שהחזר על ההשקעה הופך יותר ויותר אטרקטיבי.

הרחבת השטח לייצור האנרגיה בבניין: כיום מערכות סולאריות מותקנות בעיקר על גגות. יחד עם זאת, ישנן גם טכנולוגיות המאפשרות ייצור אנרגיה בחזיתות הבניין באמצעות מערכות BIPV (Building-Integrated photovoltaics) המותקנות בעיקר בחזיתות דרומיות. למעשה קיימות כבר כיום טכנולוגיות המאפשרות שילוב של תאים פוטו וולטאים במעטפת המבנה שאף מאפשרות גיוון עיצובי רחב. היישום של BIPV בישראל הוא מוגבל ונמצא בראשיתו, אך ניתן כבר לראות דוגמאות במבני משרדים. היעילות נמוכה יחסית למערכות המותקנות על גגות ועומדת על כ-12%. מחקר שבוצע בדובאי הסיק כי המערכות שם יכולות להגיע כבר להמרת אנרגיה של 15%-18%¹⁷. טכנולוגיה נוספת וחדשה יותר מאפשרת כבר כיום לשלב תאים פוטו-וולטאים בחלונות ובקירות מסך במעטפת הבניין. התאים הפוטו-וולטאים בחלונות יכולים להגיע כיום ליכולת המרת אנרגיה של 12%-15%. בעתיד, ככל שהיעילות של התאים תעלה, כך תעלה האטרקטיביות להתקנת מערכות BIPV בכל רכיבי החזית, ואף להרחבת ההתקנה גם לחזיתות שחשופות לשמש ישירה רק בחלק מהיום – החזית המזרחית והחזית המערבית.

אגירת אנרגיה: מתקני אגירת אנרגיה מאפשרים ניצול מקסימלי של האנרגיה הסולארית המיוצרת בבניין. מתקן האגירה כולל סוללה היכולה לאגור חשמל ולהזרים אותו בהתאם לצורך. המערכת

¹⁵ Renogy, How Solar Panel Efficiency and Cost Changed Over Time, Jul 10th 2024. ([Link](#))

¹⁶ דה מרקר, 6.11.24. ([קישור](#))

¹⁷ G.E. Samanoudy et al, Analyzing the effectiveness of building integrated Photovoltaics (BIPV) to reduce the energy consumption in Dubai, Ain Shams Engineering Journal, Volume 15, Issue 5, May 2024. ([Link](#))

הסולארית מייצרת חשמל במהלך היום שחלקו מוזרם למבנה וחלקו נאגר בסוללה. בלילה המערכת מזרימה את החשמל שנאגר במהלך היום וחוסכת את הצורך להשתמש באנרגיה מהרשת. פתרונות לאגירת אנרגיה מפותחים ומקודמים כיום כחלק מהמאמץ הכולל להפחתת פליטות ולהתייעלות אנרגטית הן בעולם והן בישראל. בשנים האחרונות התבססה טכנולוגיית האגירה בסוללות ומתרחשת ירידה של מחירי האגירה. בישראל אף פרסם משרד האנרגיה מדריך בנושא¹⁸ סביר להניח כי בעתיד יתקיים שיפור משמעותי בטכנולוגיות הקיימות ו/או הטמעת של טכנולוגיות אגירה חדשות. אלו יביאו לניצול טוב יותר של אנרגיית השמש המיוצרת (שכאמור צפויה גם היא לעלות) ויביאו להפחתה נוספת בפליטות הפחמן מצריכת אנרגיה.

6.3.2 גיבוש תרחישים עתידיים לייצור אנרגיה ממקורות מתחדשים בבניין

ניתן להניח כי בעתיד תימשך מגמת ההתפתחות וההוזלה של טכנולוגיות ומערכות הייצור והאגירה של אנרגיה בעקבות מגמות עולמיות וללא קשר לנעשה בישראל. יחד עם זאת הטמעה רחבת היקף בישראל תלויה בצעדים אקטיביים מצד שחקנים שונים בישראל הקשורים להתאמת הטכנולוגיות למציאות הישראלית, רגולציה מאפשרת, תמריצים ככל שיש צורך, התאמת התקנה לאימוץ טכנולוגיות חדשות, העלאת מודעות, קידום הידע המקצועי, התייחסות משמעותית יותר לסוגיות של ניהול ותחזוקה של המערכות במבנים משותפים ועוד. מבני מגורים משותפים מהווים אתגר ייחודי בהקשר זה בגלל המאפיינים שלהם (ריבוי בעלויות ואינטרסים, שטחי גג קטנים יחסית). לאחרונה למשל המועצה הארצית לתכנון ולבנייה אישרה תקנות חדשות שיחייבו התקנת מערכות לייצור אנרגיה סולארית בבניינים חדשים, אך במגזר המגורים התקנה מתייחסת למבנים צמודי קרקע.¹⁹

התרחישים שלהלן מתייחסים למקרה המבחן של פרויקט הבנייה במודיעין בהנחה של התקנת מערכות ייצור ואגירה של אנרגיה מתחדשת (היות שבפועל לא הותקנו מערכות כאלו). שלושת התרחישים לוקחים בחשבון מידה שונה של גידול ביכולת ייצור האנרגיה ליחידת שטח, הגדלת השטחים שיכולים לשמש לייצור אנרגיה (כדוגמת חזיתות וחלונות המבנה, כולל הרחבת הייצור גם לחזית המערבית ולחזית המזרחית של הבניין) והגדלת יכולות האגירה. כל אלו תלויים בהתפתחויות הטכנולוגיות ובמאמצים של השחקנים השונים לאימוץ ולהטמעת הטכנולוגיות בשוק המקומי.

- א. גידול מתון: עלייה של 50% ביכולת ייצור האנרגיה.
- ב. גידול משמעותי: עלייה של 100% ביכולת ייצור האנרגיה.
- ג. גידול משמעותי במיוחד בעקבות שינויים טכנולוגיים פורצי דרך: עלייה של 150% ביכולת ייצור האנרגיה.

תרחישי ייצור אנרגיה סולארית בבניין - ייצור חשמל מוערך בשנה (קוט"ש/שנה)

סה"כ	מצב קיים (בפועל)	מצב קיים (תאורטי)	תרחיש א'	תרחיש ב'	תרחיש ג'
	-	169,100	253,650	338,200	422,750

¹⁸ משרד האנרגיה והתשתיות הלאומיות, מדריך התקנת מערכות לעצמאות באנרגיה. (קישור)

¹⁹ המשרד להגנת הסביבה, אוגוסט 2024. (קישור)

תרחישי חיסכון בפליטות פחמן תפעוליות בעקבות ייצור אנרגיה סולארית בבניין²⁰

מזב קיים (בפועל)	מזב קיים (תאורטי)	תרחיש א'	תרחיש ב'	תרחיש ג'
-	169,100	253,650	338,200	422,750
-	103,151	101,460	135,280	169,100
-	17.2	16.9	22.5	28.2

7. שלב שלישי – השוואה בין התרחישים

בטבלה שלהלן מרוכזים נתוני המזב הקיים והתרחישים השונים. נתוני המזב הקיים מחולקים לשניים כאשר הראשון הוא המזב הקיים בפועל והשני כולל גם את פוטנציאל הייצור התאורטי של אנרגיה סולארית בבניין. ניתן לראות כי כבר במזב הקיים ניתן לקזז את פליטות הפחמן התפעוליות (ק"ג למ"ר/שנה) בכ-43% רק על ידי מימוש פוטנציאל הייצור.

התרחישים העתידיים א'-ג' מתייחסים למידות שונות של התייעלות, הפחתה וקיצוץ בהתאם להתפתחויות שגובשו עבור כל תרחיש בגוף המסמך. כדי לזהות את סך פליטות הפחמן התפעוליות במשך חיי הבניין הונח משך חיי בניין של 60 שנה (בדומה למתודולוגיה של ה-LEED וכלים אחרים).

ניתן לראות כי בתרחיש א', שהוא הצנוע ביותר, שיעור הפחמן הגלום מופחת ב-22% ושיעור הפחמן התפעולי (בשילוב הקיצוץ מייצור אנרגיה) מופחת ב-72%. בתרחיש ב' פליטות הפחמן הגלום מופחתות בכמעט חצי ופליטות הפחמן התפעוליות מגיעות כמעט לאיפוס. בתרחיש ג' פליטות הפחמן הגלום מופחתות ב-74% ובהיבט התפעולי כמות הפליטות הנחסכות מייצור האנרגיה עולה בהרבה על הפליטות המיוצרות כך שלמעשה הבניין חיובי פחמנית.

מזב קיים (בפועל)	מזב קיים (תאורטי)	תרחיש א'	תרחיש ב'	תרחיש ג'
766	766	600	400	200
40	40	32	24	16
2,400	2,400	1,920	1,440	960
-	169,100	253,650	338,200	422,750
-	17.2	16.9	22.5	28.2
	1,032	1,014	1,350	1,692
3,166	2,134	1,506	490	-532
		בניין מופחת פליטות	בניין כמעט מאופס פחמן	בניין חיובי פחמנית

²⁰ מזב קיים תאורטי – על פי מקדם פליטות גזי חממה של 610 גרם לקוט"ש. תרחישים עתידיים – על פי מקדם פליטות גזי חממה משוער של 400 גרם לקוט"ש. סביר להניח כי לאורך השנים תימשך המגמה הנוכחית של הפחתת מקדם הפליטות כך שכמות הפליטות ביחס לקוט"ש תלך ותקטן כתוצאה משילוב הולך וגדל של אנרגיות מתחדשות כחלק מתמהיל מקורות האנרגיה.

