



**בנייה ירוקה, משבר האקלים
והתכנית הלאומית להפחתת פליטות גזי-
חממה**

© כל הזכויות שמורות למועצה הישראלית לבנייה ירוקה, ינואר 2012

המחקר נערך בתמיכת קרן ברכה

B E R A C H A
ה ב ר כ א

מחקר וכתובה : נעמה טשנר

ליווי מקצועי : קרן שוץ

צוות היגוי : מיכל ביטרמן, יעל דורי, קרן שוץ

תוכן עניינים

4	.....	תקציר
8	.....	פרק 1 – הקשר בין הפחתת פליטות גזי חממה לבנייה ירוקה
8	.....	א. שינויי אקלים ויעדי הפחתת פליטות גזי חממה
11	.....	ב. פוטנציאל ההפחתה של בנייה ירוקה - נתונים בעולם
14	.....	ג. מקורות פליטות גזי החממה בבניינים ופוטנציאל ההפחתה
15	.....	ד. פירוט פוטנציאל ההפחתה של מבנים
25	.....	פרק 2 – פוטנציאל ההפחתה בישראל
25	.....	א. התאמת הנתונים על פוטנציאל ההפחתה של בנייה ירוקה לישראל
32	.....	ב. פוטנציאל ההפחתה בבנייה חדשה לעומת מבנים קיימים
38	.....	פרק 3 – מקרי מבחן מובילים בעולם להפחתת גזי חממה באמצעות בנייה ירוקה
38	.....	א. מבנים ברמת פליטות נמוכה או ברמת אפס פחמן (low/zero-carbon building)
40	.....	ב. ערים ושכונות ירוקות (Eco-towns/ neighborhoods)
41	.....	ג. שיפוץ ו-retrofitting של מבנים קיימים
42	.....	ד. תכניות אב / אסטרטגיות
43	.....	ה. רגולציה
46	.....	ו. תמריצים

רשימת טבלאות:

- טבלה 1: יעדי הפחתה (מחייבים/וולונטריים) באמנת קיוטו ופליטות לנפש במדינות שונות.....עמ' 9
- טבלה 2: מנועים להפחתה בישראל ע"פ מחקר חפץ.....עמ' 11
- טבלה 3: סיכום פוטנציאל התרומה של פרקטיקות בנייה ירוקה לתוכנית הלאומית להפחתת פליטות בישראל.....עמ' 35
- טבלה 4: סיכום מקרי הבוחן בהקשר של סקטור הבנייה הישראלי.....עמ' 47

רשימת תרשימים:

- תרשים 1: הערכת פוטנציאל הפחתת גזי חממה לפי סקטור באמצעות טכנולוגיות ופרקטיקות חזויות ב-2030.....עמ' 12
- תרשים 2: מודל הערכת פליטות בגישת מחזור חיי הבניין (LCA).....עמ' 13
- תרשים 3: השוואה של כמות פליטות גזי חממה לאדם ולמ"ר בתנאי עיור של צפיפות גבוהה למול תנאי עיור פרברי בעיר טורונטו, קנדה.....עמ' 23
- תרשים 4: התפלגות צריכת אנרגיה במבני מגורים ובמבני מסחר בישראל.....עמ' 27
- תרשים 5: כמות פסולת בניין בישראל וחלוקה על פי רמת טיפול.....עמ' 28

Abstract

Current practices in the building sector significantly contribute to global GHG emission. Therefore, the building and constructions sectors can and should play a major role in climate change mitigation and adaptation efforts. This research has gathered data from different countries with respect to the connection between the building sector and GHG emission, as well as its potential to reduce its carbon footprint based on the holistic Life Cycle Approach. The prime aims of this report are to analyze and evaluate the reduction potential of the building sector in Israel based on the global experience. While the building sector in Israel is responsible for approximately 50% of the country's total carbon emission, a combination of technological, practical and perceptual changes are necessary, in order to meet Israel's reduction targets and international commitments.

תקציר

לסקטור הבנייה תפקיד מכריע במאמץ הגלובלי להקטין את פליטות גזי החממה כחלק מהמאבק בתהליך שינויי האקלים והשלכותיו¹. במחקר זה ריכוז של נתונים מהעולם לגבי הקשר בין סקטור הבנייה ושינויי אקלים, פוטנציאל ההפחתה של גזי חממה ע"פ גישת מחזור חיי הבניין (Life Cycle Approach) ודוגמאות נבחרות בעולם ליישום בנייה ירוקה, שהוכיחו יכולת הפחתה מוצלחת ומשמעותית של גזי חממה. המחקר מתמקד בהערכת פוטנציאל ההפחתה של סקטור הבנייה בישראל בהתבסס על הניסיון העולמי בתחום.

הבסיס למרבית המחקרים במדינות מערביות שונות (כגון אוסטרליה, אנגליה וארצות הברית) הוא מחקרם של לוין וחובי², כותבי פרק הבניינים, בדוח הערכה הרביעי של הפאנל הבין-לאומי לשינויי אקלים (IPCC)³. הכותבים פיתחו שיטת חישוב פליטות ופוטנציאל הפחתה והסתמכו על מחקרים רבים מרחבי העולם. עם זאת, מחקרם בוחן את פוטנציאל ההפחתה של בנייה ירוקה בהקשרה המצומצם בלבד של אדריכלות הבניין וכולל: בידוד, הצללה וכדומה וכן אנרגיה אופרטיבית, כלומר טכנולוגיות להגברת יעילות אנרגטית של מכשירים אלקטרוניים וצורכי חשמל. מחקרם מזניח מרכיבים חשובים כגון: תכנון עירוני מושכל, ציפוף, מיחזור פסולת, ניהול אתר המבנה, שימוש במוצרים וחומרים ירוקים ושינוי התנהגותי של דיירי המבנה ומשתמשיו.

סקטור הבנייה הישראלי אחראי לכמעט 50% מסך פליטות גזי חממה של המדינה³ ולפיכך שינוי תפיסתו, פרקטי וטכנולוגי בהקשר למבנים יכול לתרום משמעותית להשגת יעדי הפחתה בהתאם להתחייבותה של

ישראל בוועידת קופנהגן 2009 והחלטות ממשלה בנושא. מאחר ומחקרים שנעשו בישראל המשיכו בקו מתודולוגי הצר של לוין וחוב', דוח זה יצביע כי פוטנציאל ההפחתה בסקטור הבנייה הישראלי גדול באופן ניכר מהפוטנציאל שזוהה על ידי דוחות קודמים. זאת משום שראייה אינטגרטיבית ונקיטת גישת מחזור חיי הבניין מאפשרת זיהוי מנועים נוספים חשובים להפחתה הקשורים קשר הדוק למבנים ולתהליכי בנייה ודיור, אך לעיתים רחוקות מקבלים תשומת לב מספיקה בהקשר זה (ראו טבלה מסכמת מס' 3 בעמוד 35).

מחקר רקע זה אינו כולל חישובי עלות-תועלת כלכלית של הפחתת פליטות. קיימים מחקרים ודוגמאות מהשטח המעידים שבסקטור הבנייה ניתן לקבל החזר השקעה מלא על השקעה בפרקטיקות בנייה ירוקות תוך מספר שנים בודדות, בנוסף לתועלת הכלכלית הלאומית של הפחתת פליטות. השקעות לטווח רחוק של בנייה ירוקה יוחזרו באופן ישיר על ידי צמצום ניכר בחשבונות המים, החשמל של הדיירים. בנוסף, קיימת מגמה עולמית הולכת וגוברת להפנים עלות כלכלית של טון פחמן, אם באמצעות מנגנוני הפחתה בינלאומיים ואם באמצעות מיסי פחמן מקומיים.

מסקנות מרכזיות

1. **אנרגיה אופרטיבית ואנרגיה גלומה:** חשוב להדגיש כי על אף שפליטת גזי חממה מתרחשת בכל אחד משלבי מחזור חיי הבניין, אנרגיה אופרטיבית (צריכת החשמל בזמן תקופת השימוש בבניין) היא הגורם המוביל בפליטות פחמן דו-חמצני ממבנים. בנייה ירוקה בעלת פוטנציאל הפחתת פליטות באמצעות תכנון מודע אקלים המקטין את כמות האנרגיה האופרטיבית הדרושה בתקופת חיי המבנה. בנוסף, אנרגיה גלומה רבה ניתנת להפחתה על ידי יישום אמצעים נוספים הכלולים במסגרת הבנייה הירוקה כגון: ניהול סביבתי של אתר הבנייה, "בנייה קלה", חסכון בדלק ושימוש בחומרי בנייה ידידותיים לסביבה. בנייה ירוקה תורמת להפחתת פליטות גם על ידי קידום חסכון ניכר במים וניהול פסולת הדיירים.

2. **פוטנציאל ההפחתה של מבנים:** האמצעים הבאים נמצאו כיעילים ביותר להפחתת פליטות גזי חממה בסקטור הבנייה הישראלי ביחס לרמת ההשקעה (זמן, הון אנושי, הון כספי) הדרושה: חסכון באנרגיה לצורכי אקלים ע"י תכנון נכון של הבניין מבחינת בידוד, הפניות, פתחים ואוורור (על ידי בנייה ירוקה ומודעת אקלים ונקיטה של מספר אמצעים הן בבניינים קיימים והן בחדשים, מוערך שניתן להפחית עד כ- 40% בצריכת החשמל וכ-9 מיליון טון שו"ע פחמן בשנה); שימוש בחומרי בניין ממוחזרים וניהול פסולת בניין; תכנון עירוני-סביבתי המורכב מציפוף הבנייה, עירוב שימושים, ותכנון מוטה תחבורה ציבורית; חסכון של הדיירים ושימוש מושכל במים, חשמל, מוצרים בלתי-

מתכלים וצמצום השימוש ברכב. בנוסף, הנתונים הגבוהים על פוטנציאל חסכון גזי חממה באמצעים שונים, כגון מערכות סולאריות לחימום מים במבנים ופוטנציאל ייצור אנרגיה סולארית על גגות - נשחקים עקב מסגרת מצומצמת של החוק (למשל החלת חוק התקנת הדודים רק על בתי מגורים הנמוכים מ-9 קומות) והחלטות ממשלה מגבילות או כאלו שאינן מיושמות (למשל הגבלת כמות המכסות לייצור חשמל סולארי על גגות מבנים כאשר הפוטנציאל ליכולת ייצור החשמל באופן זה מוערך ב-2500 מגה וואט, שהם כ-7% מסך ייצור החשמל בישראל).

3. **הפחתת פליטות ותקנים לבנייה ירוקה:** על אף שקידום התקן הישראלי לבנייה ירוקה 5281 נשען בין היתר על הטענה כי עמידה בו תוביל להפחתה של 30-35% בפליטות גזי החממה של המבנה⁴, אין התייחסות ישירה לנושא הפליטות בתקנים עצמם ואין קריטריונים לדירוג מבנים על פי יכולתם להציג צמצום של פליטות גזי חממה (זאת בניגוד לתקנים אחרים בעולם כמוזכר בפרק 1 סעיף ב' של דוח זה). גם מתוך מקרי הבוחן עולה כי על מנת לקדם את הנושא של הפחתת פליטות יש לשלבו באופן טרמינולוגי ומעשי בהיבטים השונים של תווי התקן לבנייה ירוקה. כמו כן, מאמצים לאומיים של מדינות שונות להפחתת פליטות מקבלים ביטוי ישיר גם בקודי בנייה. שילוב גישת מחזור חיי הבניין והטמעתה במסגרת התקנים לבנייה ירוקה תתרום לקידום פרקטיקות בנייה ירוקה לצרכי הפחתת פליטות גזי חממה. שילוב זה ייצור מודל אופטימלי שעונה על הצורך בבחינה הוליסטית של המרכיבים המערבים פליטות גזי חממה לאורך מחזור חיי המבנה וביסוס קריטריונים למדידה ולהערכה של החסכון הקיים בכל האלמנטים כולל תפקוד הבניין במרחב.

4. **הגדרה מקומית של מבנה אפס-פחמן:** מקרי הבוחן מראים כיצד יעד של מבנים ברמת אפס-פחמן הינם אפשריים להשגה בין היתר באמצעות שילוב טכנולוגיות חדשות לחסכון אנרגטי, מערכת מבוזרת לייצור חשמל, מערכת קו-גנרציה, או אנרגיות מתחדשות, ומערכות לטיפול במים ופסולת, וכיצד נגזר מתוך עצם הצבת יעד זה שיפור ניכר בכל מערכות התפקוד של הבניין כולל רמת הנצילות של משאבי טבע ובייחוד אנרגיה ומים. קביעת קריטריונים מקומיים להגדרה של מבנה אפס-פחמן עבור שימושים שונים יאפשרו הצבת יעדים כמותיים מוגדרים להפחתת פליטות בסקטור הבנייה על-ידי רשויות מקומיות ומשרדי ממשלה.

5. **פוטנציאל ההפחתה של בנייה קיימת:** על פי הערכת משרד התשתיות, תהליכי Retrofitting (שיפוץ אנרגטי) והתייעלות אנרגטית במבנים קיימים של מגורים, תעשייה וציבור בעלי פוטנציאל הפחתה מצטבר של 67.6 מיליון טון גזי חממה עד שנת 2020. הפחתה זו מהווה 94% מכלל פוטנציאל ההפחתה כתוצאה מתהליכי התייעלות אנרגטית בסקטורים הבנייה, המים והחקלאות. נתוני משרד התשתיות מתייחסים לחסכון שמקורו בהחלפת מכשירים, מערכות ונורות ואינם כוללים את פוטנציאל ההתייעלות האנרגטית הקיים בפעולות של בנייה ירוקה המצמצמות את התלות במכשירי

החשמל כגון: שיפור איטום ובידוד, שיפור זיגוג, הצללות שיפור פוטנציאל האורור הטבעי, התקנת מערכות חוסכות מים, טיפול במי נגר וכן שיפור החזיתות ושטח הפיתוח במטרה להפחית את תופעת אי החום העירוני, שבעקיפין מצמצמת את התלות בצורך במערכות אקלים. כמו כן, הארכת חייו של המבנה ברמת תפקוד גבוהה, במקרה של מבנה קיים על ידי שיפוצו, בעלת פוטנציאל חיסכון רב באנרגיה גלומה.

6. **תכניות מקומיות ולאומיות להפחתת פליטות:** הואיל וכל שלב ושלב במחזור חיי המבנה אחראי לכמות פליטות מסוימת, השגת יעדים לאומיים להפחתת פליטות דורשת תכנון מקדים וארוך טווח. מתוך מקרי הבוחן בולטים היתרונות של תכניות אב בערים בקביעת מסגרת יישומית להפחתת פליטות גזי חממה בסקטור הבנייה. תכניות אלו משמשות כמנגנון אינטגרטיבי בעל יעדים מוגדרים והצעדים הדרושים על מנת לעמוד בהם. עוד ניכר כי שילוב נושא הפחתת פליטות באופן טרמינולוגי ומעשי גם בהיבטים השונים של תכניות מתאר, שילוב של יעדי הפחתה כמותיים בתוכניות אסטרטגיות למיניהן, קביעת יעדי הפחתת פליטות בפרויקטים של שיפוץ והתחדשות עירונית ובחינה של מס פחמן כאמצעי רגולטיבי נמצאו כיעילים בקביעת מסגרת יישומית להפחתת פליטות גזי חממה בסקטור הבנייה. לבסוף, היות שמאמצים לאומיים של מדינות שונות להפחתת פליטות מקבלים ביטוי ישיר גם בקודי בנייה, תכניות אב, תכניות תמריצים יכולות המדינות לכמת ולהציג "כללי משחק" ברורים בסקטור הבנייה המשפיעים באופן ישיר על יכולת עמידה ביעדים ועל רתימת בעלי העניין.

7. **מחסור במידע ומחקרים נוספים:** מחקר התחלתי זה מצביע על מחסור בארץ במסד נתונים רלוונטיים לנושא של בנייה ירוקה ופליטות גזי חממה כגון: נתונים מפורטים על חלוקה של הרגלי צריכת חשמל בבתים לפי שימושים ומכשירים חשמליים, מחקרים הבודקים טביעת רגל פחמנית של ייצור וצריכה של חשמל, מים ופסולת לאורך תקופת חיי הבניין ונתונים המכמתים את היתרונות מול החסרונות של גגות ירוקים. תחת הקטגוריה של תכנון עירוני חסרים ביותר נתונים על כמות היוממות בארץ, מרחקינסועה, העלות המשקית והפחמנית שלנסיעות אלו והדרכים לצמצומן, וכן בחינה שלנסועה במרחבים המאופיינים בעירוב שימושים לעומת מרחבים הומוגניים מבחינת שימושים. בנוסף, חסרים מחקרים המכמתים חסכון אנרגטי למבנים שתוכננו על פי עקרונות הבנייה הירוקה למול מבנים בסדר גודל ואקלים דומים שתכנונם אינו מסתמך על עקרונות הבנייה הירוקה.

פרק 1 – הקשר בין הפחתת פליטות גזי חממה לבנייה ירוקה

א. שינויי אקלים ויעדי הפחתת פליטות גזי חממה

שטח כדור הארץ התחמם ב-0.75 מעלות צלזיוס בממוצע מאז שנת 1900 וב-0.4 מעלות משנות ה-70. ישנו קונצנזוס מדעי כי התחממות זו וכן העלייה הנוספת (בין 1.1 ל-6.4 מעל הטמפ' שנרשמה ב-1990) הצפויה עד סוף המאה הנוכחית מתרחשות כתוצאה משריפת דלקים פוסיליים אשר אחראיים על שחרור גזי חממה לאטמוספירה כתוצאה מפעילות בני האדם. תופעות אקלימיות שונות כגון אירועי מזג אוויר קיצוניים, עלייה בגובה פני הים ומשברי מים ברחבי העולם הן רק רשימה חלקית של התוצרים הישירים של שינויי האקלים, הצפויים להחמיר בעתיד. כיום הפעילות ברחבי העולם להפחתת גזי החממה (Mitigation) ולשיפור ההערכות להשלכות שינויי האקלים (Adaptation) מרוכזת תחת אמנת מסגרת של האומות המאוחדות בדבר שינויי האקלים (UNFCCC). במסגרתה פרוטוקול קיוטו המחייב את החתומות עליו, בו נקבעו בשנת 1994 יעדי הפחתה של ששה סוגי גזים⁵ (CO₂, Methane, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆) לפי חלוקה של מדינות למפותחות (Annex I – יעדי הפחתה מחייבים) ומתפתחות (Annex II – פעולות הפחתה וולונטריות). למדינות האיחוד האירופי למשל נקבע יעד הפחתה כולל של 8% ביחס לרמת פליטתם בשנת 1990. מתוך מחויבות להוביל מהלך בעל אפקט משמעותי ועל מנת לפצות על פוטנציאל ההפחתה המוגבל של מדינות המאופיינות ב"כלכלת מעבר" (transition economy), כלומר מדינות העוברות מכלכלה ריכוזית לכלכלת שוק חופשי) מדינות רבות קבעו מאז יעדים גבוהים בהרבה. גרמניה, למשל, מובילה עם יעד של 40% הפחתה ביחס לשנת 1990. אנגליה הציבה יעד של 34% הפחתה עד לשנת 2020 ובשנת 2008 כבר הציג המשרד לאנרגיה ושינויי אקלים נתוני הפחתה של 22%. ארה"ב שנמנעה מהתחייבויות עד ועידת קופנהגן בשנת 2009 ועודנה איננה חתומה על פרוטוקול קיוטו, הודיעה על יעד של 17%-20% הפחתה ביחס לפליטות של 2005. גם סין והודו, שמוגדרות כמדינות Annex II על אף שהן שתיים מארבע המזהמות הגדולות ביותר, הודיעו לאחרונה על יעדי הפחתה ביחס לשנת 2005, כלומר, כמות הפליטות במדינות אלו תמשיך ותגדל אך מאמצים ייעשו לעמוד ביעד של 40%-20% (בהתאמה) הפחתה לעומת תרחיש "עסקים כרגיל".

פרוטוקול קיוטו נשאר נכון לשנת 2012 המנגנון המחייב היחידי בנוגע להפחתת פליטות גזי חממה. בדצמבר 2011 אומנם נחתם מתווה בוועידת דרבן (Durban Platform for enhanced action) הקובע כי כל הסכם חדש יהיה בעל תוקף משפטי ויחול על כל המדינות החתומות על האמנה, ולא רק על מדינות ה-Annex I. עם

זאת לא הוסכם על יעדי התחייבות חדשים של מדינות, קנדה פרשה מפרוטוקול קיוטו והסכם סופי אמור להחתם לא לפני שנת 2015 ולהיכנס לתוקף רק בשנת 2020.

טבלה 1: יעדי הפחתה (מחייבים/וולונטרים) באמנת קיוטו ופליטות הנפח במדינות שונות

מדינה	סטטוס באמנה	יעד הפחתה	ביחס לשנת הבסיס	פליטות פחמן לנפש ⁶ (tCO ₂ eq)
אוסטרליה	Annex I מחוייבת לאמנה ולקביעת יעדי הפחתה	5% בלתי תלוי עד 25% בתלוי לצעדי הפחתה עולמיים	2000	18
ארגנטינה	Non-Annex I יעדים וולנטרים	התחייבה למספר פרויקטים בתחומים שונים כגון אנרגיה מתחדשת	--	9
בלרוס	Annex I	5-10% בתנאים שונים כגון גישה למנגנוני הפחתה של פרוטוקול קיוטו	1990	8.5
בריטניה	Annex I	34%	1990	8.1
האיחוד האירופי	Annex I	20% ללא תנאי 30% בתנאי שמדינות נוספות יתחייבו ליעד זה	1990	10.3
הולנד	Annex I			10.6
יפן	Annex I	25%	1990	9.2
ישראל	Non-Annex I יעדים וולנטרים	20%	ביחס ל"תרחיש עסקים כרגיל" בשנת 2020	11.8
סין	Non-Annex I יעדים וולנטרים	40-45%	2005 וביחס ליחידת GDP	6.8
סינגפור	Non-Annex I יעדים וולנטרים	הפחתה של 7-11%	ביחס ל"תרחיש עסקים כרגיל" בשנת 2020	11.3
קפריסין	Non-Annex I עד שנת 2013. יעדים וולנטרים	לא התחייבה ליעד כמותי	--	7.9
שוויץ	Annex I	20% ללא תנאי 30% בתנאי שמדינות נוספות יתחייבו ליעד זה	1990	7.2

*הנתונים בטבלה מעודכנים לשנת 2010.

כמובן שלהפחתה בפליטות גזי חממה יתרונות לטווח המידי כגון צמצום פליטתם של גזים נוספים, שיפור ניכר באיכות האוויר וכתוצאה מכך קידום סביבה בריאה וירידה ברמות תחלואה. כמו כן, מכיוון שסקטור האנרגיה (ייצור חשמל ותחבורה) אחראי למרבית הפליטות (כ-80%), צמצום הפליטות פירושו חסכון באנרגיה והגברת עמידות מול תנודות בשוק הנפט. ברמה העולמית, מרבית ההפחתות מאז כניסתו לתוקף של פרוטוקול קיוטו יצאו לפועל באמצעות מנגנון הסחר בפליטות גזי חממה ("שוק הפחמן"), ושני מנגנונים

לפרויקטים נקודתיים - "מנגנון הפיתוח הנקי" (CDM) ו"מנגנון היישום המשותף" (JI) דרכם מדינות מתפתחות יוכלו למכור את ה"חיסכון" בפליטות, הנובע מייזומם של פרויקטים התורמים להפחתה בפליטת גזי חממה, למדינות מפותחות. פוטנציאל הפחתת גזי חממה ברמת המדינה מבוסס על מספר מנועים, המרכזיים בהם: מעבר לשימוש באנרגיות נקיות, ייעול והתייעלות אנרגטית במבנים קיימים וחדשים, מדיניות טיפול בפסולת ובעתיד גם באמצעות תפיסה ואחסון של פחמן דו-חמצני (Carbon capture and storage). משקלו של כל מנגנון במערך הכוללני להפחתה משתנה ממדינה למדינה בהתאם לתנאיה הפיסיים, הכלכליים והחברתיים.

פליטות גזי חממה בישראל

תרומת ישראל לסך כל פליטות גזי חממה בעולם איננה גדולה ביחס למדינות גדולות ובעלות מיליוני תושבים. בשנת 2009 סך הפליטות הסתכם בכ-74.1 מיליוני טון פחמן⁷. עם זאת, כמות הפליטות לנפש בישראל היא בין הגבוהות בעולם (בסביבות ה-11 אלף טון פחמן בשנה) ועולה על זו בבריטניה והולנד למשל (טבלה 1) ובעוד שבמדינות מערביות רבות כמות הפליטות יורדת או לפחות נשארת קבועה, דפוס העלייה בפליטות של ישראל דומה לזה של "מדינות מפותחות לאחרונה" (recently developed countries) כגון יוון וספרד⁸. ישראל הצהירה על מחויבותה לתרום למאמצים הגלובליים להפחתת פליטות גזי החממה בקופנהגן 2009 ולשם כך קבעה יעד של 20% הפחתה עד לשנת 2020 בהשוואה לתרחיש "עסקים כרגיל" (כלומר בהשוואה לכמות הפליטות הצפויה בשנת 2020 ללא יישום מנגנוני הפחתה) והקמת ועדה בין-משרדית בראשות משרד האוצר לגיבוש תכנית לאומית על מנת לעמוד ביעד זה (פירוט בהמשך). הצטרפותה של ישראל כחברה בארגון ה-OECD מוסיפה על ציפיות אלו. על מנת לאתר את פוטנציאל ההפחתה של סקטורים שונים, המשרד להגנת הסביבה מסתמך על שני מחקרים מרכזיים: מחקר חפץ ומחקר מקינזי.

על פי מחקר חפץ, מנועי ההפחתה הראשיים בישראל הם: קידום אנרגיות מתחדשות ובייחוד רוח ושמש (פוטנציאל הפחתה של 5.4 מיליון טון), הפחתת צריכת החשמל (5 מיליון טון) והפחתה בנסועה וצריכת דלק בתחבורה (1.7 מיליון טון). למעשה, כפי שניתן לראות בטבלה 2, על פי מחקר חפץ קידום של מבנים חסכוניים באנרגיה טומן בחובו את אפשרות ההפחתה המשמעותית ביותר (8.9 מיליון טון), לא כולל גגות ירוקים (1.8 מיליון טון), תאורה יעילה (2.6 מיליון טון) ומכשירי חשמל יעילים (6.7 מיליון טון)⁹.

טבלה 2: מנועים להפחתה ע"פ מחקר חפץ

מנועים להפחתה	פוטנציאל הפחתה במיליוני טון שווה ערך פחמן לשנה (MtCO ₂)
מבנים חסכוניים באנרגיה	8.9
תאורה יעילה	2.6
מכשירי חשמל יעילים	6.7
גגות ירוקים	1.8
הפחתת צריכת החשמל ב-50%	5.0

המחקר השני, של חברת מקינזי הבינלאומית, מצביע על מנועי הפחתה מגוונים נוספים במספר סקטורים מרכזיים (אנרגיה, מים, תחבורה, פסולת, חקלאות, התנהגות הציבור וכו') כגון: מעבר לרכב חשמלי, ניצול אשפה לייצור חשמל, הפחתה בצריכת בשר ושינוי סל הדלקים הלאומי לייצור חשמל. עם זאת מוסכם שמאחר שישראל צפויה להכפיל את כמות הפליטות שלה עקב ריבוי אוכלוסין ועלייה גבוהה בתמ"ג, אין בידה אפשרות להקטין את סך הפליטות באופן אבסולוטי, אלא רק להפחית את קצב גידולם, כלומר, בבסיס מחקר עומדת ההנחה כי כל הפחתה אפשרית (המוערכת ב-24% עד 2030) תעזור למנוע את תרחיש ההכפלה אך לא תוכל למנוע את הגידול הצפוי (38% עד 2030)¹⁰. יעדי הפחתה לא שאפתניים ודגש מועט על פוטנציאל ההפחתה של שינויים התנהגותיים ושל סקטורים נוספים מהווים את הבסיס לביקורת על מחקר מקינזי שהושמעה על ידי ארגוני סביבה וחברה אזרחית בישראל¹¹. אלו טוענים מנגד כי פוטנציאל ההפחתה של ישראל רב ומגוון והתוכנית הלאומית להפחתת פליטות היא צעד ראשון וחשוב בכיוון זה.

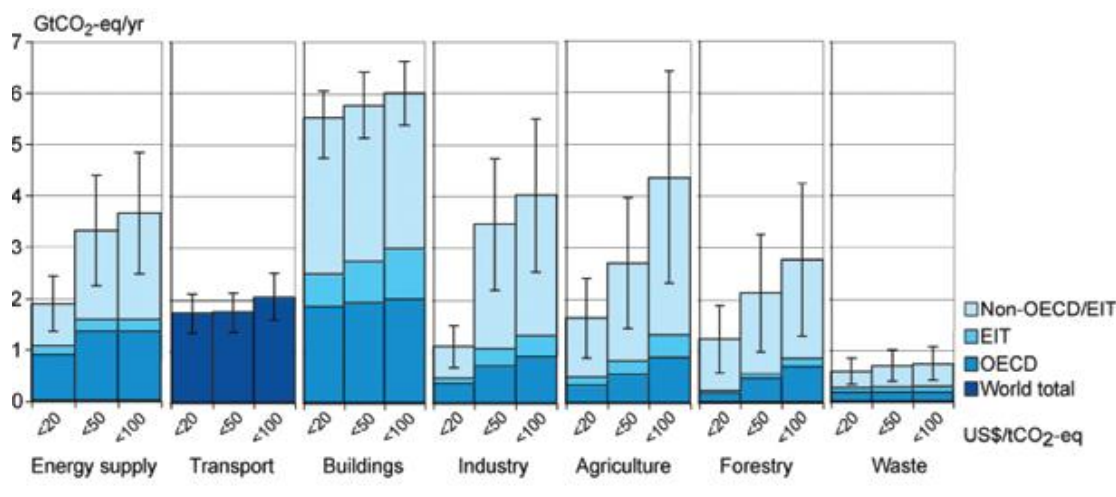
ב. פוטנציאל ההפחתה של בנייה ירוקה - נתונים בעולם

מבנים ברחבי העולם צורכים כ-30-45% מכלל צריכת האנרגיה העולמית ותורמים כשליש מכלל פליטות גזי החממה. סך כל הפליטות הגלובלי של גזי החממה מבניינים הוא 8.6 מיליארד טון שו"ע פחמן דו-חמצני (GtCO₂eq) נכון לשנת 2004¹². קצב הגידול בפליטות גבוה: בין 1971 ל-2004, גידול הפליטות עלה ב-2.5% לשנה לבניינים מסחריים וב-1.7% לבנייני מגורים. היסטורית, מקור מרבית הפליטות ממבנים הוא במדינות צפון אמריקה, מערב ומזרח אירופה, מדינות הקווקז ומרכז אסיה, על אף שעד שנת 2030 מדינות מתפתחות יעברו ברמת הפליטות שלהן מבניינים את המדינות המפותחות בתרחיש של "צמיחה מהירה" באזורים אלו על פי הצפי כיום, עקב פיתוח וקצב בנייה מוגברים.

הפאנל הבין-ממשלתי לשינויי אקלים באו"ם (IPCC) מעריך שאת ההפחתה המשמעותית ביותר ניתן להשיג בסקטור המבנים, כפי שמוצג בגרף 1¹³ ובסך הכל, עד שנת 2020, לפחות 29% פליטות גזי חממה

עולמיים ניתן למנוע ללא עלות נוספת, 3% נוספים בעלות של עד \$US20 לכל טון שו"ע פחמן ו-4% נוספים בעלות של \$US100 לטון. כל זאת באמצעות שינויים טכנולוגיים בלבד, ללא התייחסות לערכם המוסף של שינויים התנהגותיים וכוללניים יותר כפי שיוצגו במסמך זה בהמשך.

תרשים 1: הערכת פוטנציאל הפחתת פליטות גזי חממה לפי סקטור באמצעות טכנולוגיות ופרקטיקות שצפויות להיות זמינות בשנת 2030:

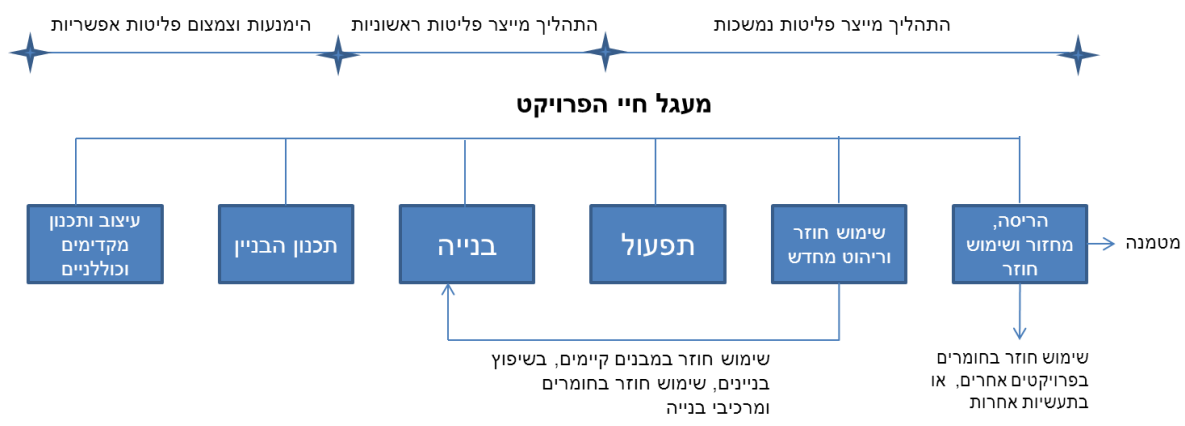


כתוצאה מגידול מאסיבי בבנייה ברחבי העולם נתוני הפליטות לעיל צפויים להכפיל את עצמם בעשרים השנים הבאות במידה ולא יינקטו צעדים בנושא. לפיכך, הרי שבמידה ומקבלי החלטות מעוניינים להקטין את כמות פליטות גזי החממה, עליהם להפוך את סקטור הבנייה ליעד מרכזי במדיניות שינויי האקלים. בנוסף, כפי שצויין, פוטנציאל ההפחתה בבניינים נחשב משתלם כלכלית והשקעה באמצעים שונים ובטכנולוגיה קיימת אפשרית ללא עלות נוספת או שהיא מחזירה את עצמה לאורך תקופת השימוש במבנה ולעיתים אף תוך מספר שנים בודדות¹⁴. כמו כן נמצאו יתרונות כלכליים "עקיפים" בבנייה מודעת אקלים כגון עלייה בפרודוקטיביות של עובדים בבנייני משרדים. לבסוף, כמו בכל תהליך ייצור, בעידוד בנייה מופחתת פליטות ואפילו בעלת "אפס טביעת פחמן" (zero-carbon footprint), קיים יתרון של "כלכלת גודל" (economies of scale), המוביל לחדשנות ותחרותיות טכנולוגיים, מנועים בעלי פוטנציאל הפחתת פחמן משמעותי.

בנייה ירוקה מוגדרת כבנייה ידידותית לסביבה ולמשתמש במסגרתה מושג צמצום ויעול השימוש במשאבים מתכלים, והיא מושגת באמצעות שילוב פרקטיקות תכנון, אמצעים טכנולוגיים וחומרים בכל אחד משלבי

התכנון והבנייה. כיום רווחת התפיסה המסתכלת על תהליך הבנייה בגישת "מחזור חיי המבנה" (life cycle analysis) בהנחת משך חיים ממוצע של בין 60 ל-100 שנים למבנה. גישה זו לוקחת בחשבון את ההשלכות של שימוש במשאבים גולמיים (מחצבים), מים ואנרגיה והשבתם חזרה לסביבה לאורך תקופת הפעילות של ה"מערכת". בהקשר של מבנים, "מערכת" יכולה לכלול רכיב בבניין, מבנה אחד או את סקטור הבניין כולו. "מחזור החיים" של המערכת, לדוגמא- המבנה, כולל מספר שלבים עיקריים: חציבת חומרי גלם, עיבודם, שינועם לאתר, הרכבתם, שימוש במבנה, הריסתו והטמנה סופית של מרכיביו. גישה זו מזהה ומפנימה השלכת עלויות סביבתיות ממשאב טבעי אחד לאחר (אוויר, מים, קרקע) או משלב אחד במחזור החיים למשנהו. סדרת התקנים ISO14001 ו-ISO14040 המוכרת בכמאה מדינות ברחבי העולם היא כלי מערכת ניהול סביבתי והערכת מחזור חיים הבוחן את הסיכונים של ארגון, תעשייה או מוצר לסביבה בתחומים, כגון: מזהמים, פסולת, גורמי רעש וחומרים, וקובע מטרות ויעדים בתהליכי התכנון והייצור, בשילוב שיקולים סביבתיים¹⁵. למעשה ניתן ליישם הערכת מחזור חיים לצורך הערכת תפקוד הוליסטית של מבנים על מנת לקדם פרקטיקות של בנייה ירוקה וחסכון באנרגיה ומשאבים¹⁶. מודל אינטגרטיבי שפותח על ידי פ. גרהם של הערכת מחזור חיי בניין עם הערכת פליטות מבנים מוצגת בתרשים הבא:

תרשים 2: הערכת פליטות בגישת מחזור חיי הבניין (LCA). מתוך: Graham, P. (2003) Building Ecology: First Principles for a Sustainable Built Environment Blackwell, Oxford, U.K. p.27



הערכת מחזור חיי-הבניין היא, אם כן, מודל שמטרתו לספק את מירב האינפורמציה והנתונים כולל ההשלכות של חציבה, ייצור, שימוש והטמנה של חומרים ומוצרים הקשורים למבנה. בנוסף, מאגר הנתונים שנוצר משמש לזיהוי האפשרויות לצמצום ההשלכות השליליות (על הסביבה) ומרחב ההזדמנויות לשיפור הפרקטיקות השונות. טכניקת הערכה זו עשויה לקדם מדיניות להפחתת פליטות על בסיס נתונים אמפיריים

המצביעים על מקורות הפליטה המרכזיים בתהליכי בנייה. כלי זה אינו חף מחסרונות, כגון מחסור בקריטריונים ברורים להערכה וכן חוסר יכולת לזהות סכנות בריאותיות. אך עם זאת הוא עשוי לתרום ליישום מדיניות להפחתת פליטות על ידי מתן מענה לשאלות כגון: מהי כמות האנרגיה הגלומה בחומרי בניין לאורך חייו? האם תהליך העיבוד והייצור של החומרים נעשה תוך כדי צמצום השימוש באנרגיה פוסילית ובשילוב אנרגיות מתחדשות? האם שלבי הבנייה והשימוש במבנה יאפשרו חסכון בחומרים ע"י שימוש חוזר או מיחזור? האם קיימות אלטרנטיבות שהינן בעלות צריכת אנרגיה נמוכה יותר? מהי רמת האחזקה או השיפוף שיידרשו לחומרי הבנייה במהלך חיי המבנה? וכד'.

ניתן לטעון כי התקנים לבנייה ירוקה מרחיבים את היריעה בה נבחן הבניין ומתייחסים לא רק ליכולתו לחסוך באנרגיה אלא גם לתפקודו במרחב, קרי קרבתו לתחבורה ציבורית, בנייה באתר מופר ושיקומו, שיקום קרקעות מזוהמות, התחדשות עירונית ורקמות עירוניות, ציפוף, שיקום אקולוגי, צמצום תופעות אי החום העירוני וצריכת משאבים לצורכי איקלום, ועוד. אלו נושאים והחלטות אשר משפיעים באופן מורכב יותר ופחות ישיר מאנרגיה אופרטיבית על פליטת גזי-חממה. אכן, עד עתה תקנים בינלאומיים לבנייה ירוקה, כגון ה-BREEAM וה-Green Star, על אף שנקטו גישה הוליסטית הנוגעת למרכיבים שונים במחזור חיי המבנה, התייחסו לפליטות גזי חממה בעיקר בהיבט של האנרגיה האופרטיבית במהלך השימוש במבנה. יחד עם זאת ראוי לציין כי התקן האנגלי BREEAM עבר בשנת 2011 שינוי משמעותי והוכנסו בו סעיפים חדשים הכוללים התייחסות ישירה להיבט של פליטות לאורך השלבים השונים במחזור חיי הבניין. בנוסף, בעקבות שינויים שהוכנסו לחוקי הבנייה האנגליים, הפחתה של פליטות פחמן דו-חמצני מהווה קריטריון ברור ומובחן בפרק האנרגיה של התקן¹⁷. שילוב בין גישת מחזור חיי הבניין והטמעתה במסגרת התקנים לבנייה ירוקה היא הדרך הנכונה לקדם פרקטיקות בנייה ירוקה לצרכי הפחתת פליטות גזי חממה. שילוב זה ייצור מודל אופטימלי שעונה גם על הצורך בקריטריונים ברורים להערכה ולמדידה של אלמנטים ירוקים בבניין ומדדים לבחינת בריאות האדם במבנה.

ג. מקורות פליטות גזי החממה בבניינים ופוטנציאל ההפחתה

פליטת גזי חממה נוצרת עקב צריכת אנרגיה במבנים ובייצור ושינוע של חומרי בנייה. אנרגיה זו מאופיינת בשלוש קטגוריות: אנרגיה אופרטיבית (energy in use), אנרגיה גלומה (embodied energy) ואנרגיה אינהרנטית (inherent energy). **אנרגיה אינהרנטית** קיימת בחומרים טבעיים כגון עץ ויכולה להשתחרר

כתוצאה מתהליכים כימיים או בעירה. מאחר שלא מעורב בתהליך שימוש באנרגיה פוסילית ובשחרור גזי חממה, קטגוריה זו איננה רלוונטית לצורך מסמך זה.

אנרגיה גלומה היא סך כל האנרגיה הדרושה על מנת לכרות חומרי גלם, לעבד אותם לחומרי בנייה, לשנע אותם לאתר, להרכיב אותם יחד לכדי מבנה ולבסוף לפרקם ולהעביר לאתרי הטמנה או טיפול. ההערכה היא שכ-20% מהפליטות של מבנים מתרחשות כתוצאה מתהליך ייצור, שינוע, בנייה והריסה של חומרי בנייה. תכנון המבנה, גודלו ומקור חומרי המבנה משפיעים מאוד על כמות האנרגיה הגלומה. סך כל הפליטות של גזי החממה מהאנרגיה הגלומה בחייו של בית מגורים מוערכת בכ- 21-47 טון שו"ע פחמן¹⁸. לבחירת חומרי הבניין השפעה גדולה על כמות האנרגיה הגלומה הנוצרת, כאשר בזכוכית, אלומיניום, בטון מסוגים שונים וקרמיקה כמות אנרגיה גלומה רבה יותר, למשל בהשוואה למלט, עץ ולבני אדמה. חול וחצץ בדרך כלל מועברים בכמויות גדולות למרחקים גדולים ולפיכך צורכים אנרגיה רבה לצורך שינועם. פוטנציאל החיסכון בגזי חממה של אנרגיה גלומה הוא רב וראוי להשגה גם משום שיש לו יתרונות סביבתיים נוספים כגון הקטנה בזיהום האוויר.

אנרגיה אופרטיבית היא האנרגיה לה זקוקים דייריו ומשתמשיו של המבנה הקיים או המתוכנן. על פי מחקר שנערך באנגליה, כמות האנרגיה האופרטיבית של מבנה מגורים תעלה על כמות האנרגיה הגלומה שלו תוך שנתיים עד חמש שנים מיום אכלוסו. משמעות הדבר היא שלשם צמצום צריכת האנרגיה במהלך חייהם של מבני מגורים, צמצום האנרגיה האופרטיבית משמעותי הרבה יותר מצמצום צריכת האנרגיה הגלומה¹⁹. בנוסף, סך האנרגיה הגלומה עשויה לגדול בסוגי מבנים מסוימים עקב הכוונה להקטין את כמות האנרגיה האופרטיבית לאורך חיי המבנה משום שיהיה צורך להשקיע באלמנטים מוסיפי בידוד, למשל, או בפאנלים סולאריים שלהם אנרגיה גלומה רבה. עם זאת, כפי שיפורט בהמשך, בנייה ירוקה מאפשרת יעילות אנרגטית גבוהה מאוד בשימוש של מבנים (חסכון של כ-30% עד 40% בצריכת החשמל), שמפצה בטווח הרחוק על כל גידול בהשקעת אנרגיה גלומה.

ד. פירוט פוטנציאל ההפחתה של מבנים

להלן מובא פירוט של פוטנציאל ההפחתה של אלמנטים שונים במבנה בגישת מחזור חיי-הבניין, תוך התייחסות למרכיבים הבאים: חסכון באנרגיה אופרטיבית, שילוב אנרגיות מתחדשות וקו-גנרציה, טיפול בפסולת ביתית, חסכון במים, ניהול סביבתי של אתר הבנייה, חומרים ומחזור פסולת בנייה, תכנון עירוני

ושינוי התנהגותי. לאחר סקירה זו המבוססת על נתונים מהעולם¹, המסמך יעבור להתמקד בפוטנציאל ההפחתה המקביל בישראל.

חסכון באנרגיה גלומה

בייחוד נודעת צריכת אנרגיה גלומה רבה בייצור **חומרי בניין** מודרניים כגון מלט, בטון, פלדה (כמו גם בייצור מכשירי חשמל ורהיטים). ייצור טון פלדה למשל פולט 2 טון פחמן דו-חמצני. טון מלט מייצר טון פחמן דו חמצני. ייצור מלט לבדו אחראי לכ-5% מכלל פליטות הפחמן הגלובליות. בממוצע, כ-50% מהפליטות של חומרי בניין נוצרות עקב שינויים כימיים של חומרי הגלם, כ-40% עקב צריכת דלק והיתרה מצריכת חשמל ושינוע. מלט יבש צורך פחות אנרגיה ממלט רטוב ולמלט מעורבב יתרון יחסי בחיסכון פליטות פחמן דו-חמצני וצריכת אנרגיה. לעומת זאת, חומרי גלם אלטרנטיביים ובעיקר מבוססי-עץ עשויים לשמש כאוגרי פחמן ובכך לעזור בצמצום פליטות כללי. לדוגמא, שלדי עץ מגלמים 15% פחות אנרגיה משלדי מתכת או בטון ופולטים כ-30% פחות פחמן. עם זאת, שקלול היתרונות איננו חד משמעי משום שיש צורך לקחת בחשבון פרמטרים נוספים כגון אחוז החומר הניתן למיחזור, מקור החומרים והמרחק שיש להובילם לאתר וכן עמידות לאורך זמן. כמו כן השימוש בחומרים מסוימים עלול להיות מוגבל בהתאם לתנאים אקלימיים ודרגת הסיכון לשריפות ולרעידות אדמה (הסתייגות קיימת למשל בשימוש מוגבר בעץ לבנייה בארץ). יש לציין כי קיים בתקן LEED סעיף המתייחס לשלד המבנה. פרמטרים בסעיף זה כוללים שימוש בחומרים ממחזרים, בחומרים שיוצרו בטווח של עד 800 ק"מ מהאתר ובשימוש בעץ ממקור מאושר.

חסכון באנרגיה אופרטיבית

כמות צריכת האנרגיה בתקופה השימוש בבניין תלויה בגורמים רבים הקשורים זה לזה כגון מיקום הבניין והאקלים, תכנונו, חומרי המעטפת, פונקציית השימוש בבניין, רמת צריכת החשמל ומקור אספקת האנרגיה לייצור החשמל הנצרך בבניין. בנוסף יש השפעה לרמת ההכנסה וההתנהגות של דייריו. מוערך, שברמה העולמית, כמות הפליטות של גזי חממה כתוצאה מייצור חשמל מדלקים פוסיליים לשימוש בבניינים הגיעה ל-3Gt CO₂eq בשנת 2004, כ-30% מסך הפליטות הגלובליות של סקטור הבנייה. מכיוון שכמות הפליטות הרבה ביותר בהקשר של מבנים מקורה בייצור ושינוע חשמל הנצרך בבניינים, פוטנציאל החיסכון הניכר ביותר נמצא ביעילות וחסכון אנרגטי, קרי בהעמדה נכונה של המבנה ותכנון הפתחים, שיפור הבידוד של חלונות, קירות וגגות, ניצול המסה התרמית, מערכות המיזוג ובקרת אקלים (חימום, קירור ואוורור), תאורה

¹ ככלל הנתונים שובאו בחלק זה של הדו"ח מתרכזים בנתונים בינלאומיים מלבד שני סעיפים (פסולת ביתית ושינויי התנהגות) המציגים גם התייחסות לנתונים בישראל. זאת על מנת למנוע סרבול בהמשך.

טבעית ונורות חסכוניות, ומכשור ביתי²⁰. הדרך היעילה ביותר לחסוך בצריכת חשמל במבנה היא על ידי "בנייה ירוקה" בשלב התכנון והעיצוב. להלן פירוט קצר של האלמנטים הבולטים של "בנייה ירוקה" בעלי הפוטנציאל הגבוה ביותר לחסכון בפליטות גזי חממה:

- ✦ **התכונות של מעטפת ושלד הבניין קובעות במידה רבה את העומס התרמי בפנים חלל המבנה. צורת המעטפת, אורך חזיתות ושטח הפנים** לעומת נפח החלל משפיעים על העברת האנרגיה מחוץ ובתוך המבנה. למשל, כל הגדלה במעטפת מגדילה באופן ישיר את מעבר החום דרכה ולפיכך יש יתרון למעטפת קומפקטית אשר שטח הפנים שלה קטן יחסית לנפח הבניין²¹. בהקשר זה תכנון המבנה לפי פונקציית השימוש בו היא גורם משמעותי לחסכון באנרגיה וחומרי בנייה.
- ✦ **מידות ומיקום פתחים** לצורך הגברת האוורור הטבעי בבניין וצמצום התלות במערכות צורכות אנרגיה לצורך אקלים המבנה. הפניות נכונות של המבנה (כלפי דרום) מאפשרות ניצול פאסיבי של אנרגיית השמש כאשר קליטה ישירה נעשית באמצעות החלונות ואגירת החום נעשית בקירות וברצפה. במקביל, להגנה מפני קרינה ישירה והרחקתה בעיקר בחודשי הקיץ יש לשלב מערכות הצללה חיצוניות ופנימיות, קבועות ודינמיות, בהתאם למיקום הפתחים ולבחינת נתוני האקלים באתר. להגדלת יעילות המבנה על ידי התאמה אקלימית קיימת חשיבות גם לגבי העמדת המבנה באתר וביחס למקבץ בניינים.
- ✦ **בנייה ירוקה בשלב התכנון מקטינה את הצורך בשימוש במערכות מיזוג, האחראיות באופן ישיר לפליטות גזי חממה, מעבר להיותן צרכניות של חשמל: טון אחד של גזי HFC שנפלט ממערכות מיזוג מודרניות שווה ערך לפליטה של 3400 טון גזי חממה²². ניתן לייעל אנרגטית מערכות בקרת אקלים על ידי שיפור ביכולת השליטה בלחות, בקרת תנועה, אמצעי כיוון טמפי' חכמים, אחזקה שוטפת של המערכת ובחירת גודל מערכת מתאימה ביחס לגודל ולפונקציית השימוש של המבנה.**
- ✦ **מעבר לפוטנציאל החיסכון האנרגטי של תאורה טבעית התלויה בתכנון המבנה, תאורה מלאכותית נכונה וחסכונית בחשמל היא בעלת פוטנציאל הפחתה גבוה. חסכון בשימוש בחשמל מושג על ידי התקנת מערכות בקרה אוטומטיות לכיבוי והדלקה (פוטנציאל של 50% בצריכת החשמל²³), שימוש בעמעמים ומעבר לשימוש בנורות חסכוניות. מחקרים מצביעים שהמשך מעבר גלובלי לשימוש בנורות פלואורסצנטיות קומפקטיות ונורות LED מהדור המתקדם ביותר יכול להוביל לחסכון של כ- 200 מיליוני טון שו"ע פחמן בשנת 2025 ביחס לכמות הפליטות הגלובלית מתאורה כיום.**
- ✦ **הבניין יהיה יעיל אנרגטית לא רק כאשר תכנון נכון יקטין את זרימת החום/הקור במעטפת הבניין אלא גם במידה ויצג יעילות גבוהה של צריכת האנרגיה של מכשירי חשמל לבנים (תנורי-אפייה,**

מדיחי כלים, מקררים, מכונות כביסה, מייבשי כביסה, מזגנים). במדינות גדולות ב-OECD כגון ארצות הברית ואנגליה מכשירי חשמל צורכים 40% מכלל צריכת האנרגיה בבניין מגורים. פרקטיקות של בנייה ירוקה כוללות התקנת אמצעי שליטה בתוך המבנה על ידי לוחות מפוצלים בכל חלק של המבנה (להגברת שליטת דיירי המבנה), ממירים המגבילים את כמות הצריכה, חיישנים המאתרים נוכחות, תמריצים של חברות החשמל להנמכת הצריכה ועידוד המעבר לשימוש במכשירים זוללי חשמל בשעות הלילה. בנוסף, מכשירי חשמל חדשים יכולים להגיע לעד פי חמש יעילות בצריכת האנרגיה בהשוואה למכשירים המקבילים ניקוד נמוך בתקני נצילות אנרגטית. עלייה חדה בתצרוכת חשמל במכשירים במבני מגורים ומשרדים נוצרה בשנים האחרונות עקב ריבוי מכשירים בעלי מצב סטנד-ביי או מכשירים בעלי סוללות נטענות. פוטנציאל הפחתת גזי חממה מצריכת חשמל על ידי מכשירים חשמליים טמון בשיפורים טכנולוגיים שיקטינו את צריכת החשמל של מכשירים במצב המתנה ובשינויי התנהגות של משתמשים, שמטרתו חסכון בחשמל והוצאת תקע של מכשיר חשמלי כאשר לא נעשה בו שימוש.

✦ לגוות פוטנציאל הפחתה של 10%-30% חשמל בחלל הצמוד להם²⁴, אם באופן של גוות ירוקים ואם באמצעות גוות "קרים". גינות גג, או "גוות ירוקים" לא רק שתורמים לספיחת פחמן דו-חמצני ולהקטנת ריכוזו באטמוספירה אלא למעשה מעלים את רמת הבידוד התרמי של מבנים. מחקרים שונים מצביעים על הפרש טמפרטורות ניכר במבנים תחת גוות ירוקים המקטין את צריכת האנרגיה במבנה לצורכי קירור וחימום. מחקר באנגליה הצביע על פוטנציאל חסכון של עד 6.8kW/h קילו וואט לשעה לכל מטר מרובע (מ"ר) של גג ירוק בלונדון. מחקר בשיקגו הצביע על חסכון אפשרי של 720 מגה וואט לשעה בשעות העומס במידה והעיר תמצה את פוטנציאל ההתקנה של גוות ירוקים²⁵. עם זאת יש לציין שגוות ירוקים אינם נטולי חסרונות. שני שיקולים מרכזיים הם צריכת המים, בעיקר באקלים בו שיעור אידוי גבוה, העומס הסטטי שעלול להיווצר על גג הבניין וההכרח בתחזוקה שותפת. "גוות קרים" תורמים לפוטנציאל ההפחתה הכולל של מבנים ולצמצום "איי חום עירוניים" על ידי הקטנה של רמת ספיחת קרני השמש, באמצעות שימוש בחומרי חיפוי מיוחדים (בעלי גוון בהיר או מקדם בליעה נמוך) והתקנת לוחות סולריים לספיחת חום. שימוש בגוות קרים משפר את היעילות האנרגטית של המבנה באמצעות צמצום עלויות המיזוג בימים חמים (החסכון מוערך בכ-20%²⁶), ובכך גם מביא לקיזוז פליטות הפחמן של ייצור האנרגיה הנחסכת.

ביזור מערכות ייצור אנרגיה, שילוב קו-גנרציה (במבני תעשייה) ואנרגיות מתחדשות ברמת הבניין (כלל)

הבניינים

מערכות מבוזרות ומקומיות של ייצור ואחסון אנרגיה עדיין אינן נפוצות. עם זאת, מומחים מאמינים שהיתרונות - צמצום באיבוד אנרגיה בהולכה, העלאת אמינות ואיכות, גמישות ושליטה רבה יותר של הצרכנים ועוד, יובילו לשינוי משמעותי בפרדיגמת ייצור החשמל הנוכחית הנעשית באופן ריכוזי במספר תחנות כוח²⁷. בשוויץ למשל ניתנים תמריצים פיננסיים ליצרני חשמל מקומיים על מנת לעודד ייצור חשמל מבוזר. נטען כי ניתן להפחית כ-20% פליטות פחמן על ידי אמצעים להקטנת איבודי אנרגיה במערכת קווי ההולכה של חשמל, בין היתר על ידי ביזור המערכת והימנעות מהולכת חשמל למרחקים ארוכים²⁸. לחליפין, למערכות קו-גנרציה (Co-generation), כלומר מערכות להפקה משולבת של חשמל וחום (CHP-Combined heat and power) קיים פוטנציאל לשימור וחסכון באנרגיה והפחתת פליטות גזי חממה (כ-60-80% הפחתה¹⁹), הגדלת רוזבות חשמל ודחיית הקמתן של תחנות כוח קונבנציונאליות. מערכת קו-גנרציה מתאימה בעיקר לצרכנים עצמאיים (מבני תעשייה או בתי מלון למשל) שיכולים לייצר לעצמם חשמל ולעשות שימוש בחום השיורי לחימום בחורף²⁹. ניצול החום השיורי מצטרף לחשבון היעילות האנרגטית הכוללת של מתקני הפקת חשמל ובסופו של דבר של הצרכן (קרי המבנה). מעבר להגדלת הנצילות האנרגטית, יתרון נוסף למערכות קו-גנרציה הוא האפשרות להפעילן בגז טבעי ובעתיד גם באנרגיות נקיות כגון ביומאסה, ביוגז ומימן. לבסוף, שימוש באנרגיות מתחדשות ברמת הבניין יכול לאפשר קיום מבנים "ברמת אפס-פחמן". קיימות דוגמאות רבות למבנים ברחבי העולם העושים שימוש באנרגיות מתחדשות ובייחוד פאנלים סולריים. ניתן למשל להתקין פאנלים סולריים על גגות וניתן לשלבם באדריכלות המבנה (ראו פרק 3). אלטרנטיבה נוספת לייצור אנרגיה ברמת הבניין היא באמצעות טורבינות רוח קטנות. כמו במערכות פוטו-וולטאיות יתרונותיה של מערכת קטנת ומקומית לייצור חשמל בהשוואה למתקנים בהיקף רחב הם שהאנרגיה הדרושה למבנה או למספר מבנים מופקת בטווח קרוב ולפיכך אין צורך בהקמת תשתיות להולכת החשמל, איבוד האנרגיה שבהולכה קטן, וניתן להתקינה על גבי תשתיות קיימות ללא הקצאת שטחים ייעודיים³⁰.

פסולת ביתית

קיים פוטנציאל הפחתה של גזי חממה בהפרדת פסולת ביתית למיחזור (פלסטיק, זכוכית, נייר) ובעיקר בהפרדת פסולת אורגנית במקור. פירוק אורגני (קומפוסט) נחשב ליעיל ביותר בהשוואה להטמנה או שריפת פסולת המהווים מקור לפליטת מתאן, גז התורם משמעותית להתחממות גלובלית. במדינות האיחוד האירופי

אף נקבעו יעדי צמצום הפסולת האורגנית המיועדת להטמנה³¹. בנוסף, יש צורך בבדיקת האפשרות של הפקת אנרגיה מפסולת ברמת הבניין. קיימות בעולם מספר חברות המתמחות בכך אך אין וודאות כי הדבר יעיל ברמת המבנה. פוטנציאל ההפחתה של גזי חממה בהפקה מקומית של אנרגיה נובע מיתרונות של ביזור מערכת אספקת החשמל (ראו סעיף קודם), הקטנת פליטות גזי חממה במטמנות ויצירת אנרגיה מתחדשת (ביומאסה). בישראל עודכנו לאחרונה תעריפי היטל פסולת בהתאם לסוג הפסולת וסוג אתר ההטמנה. התעריף החדש נועד לעודד הקמתם של מתקני טיפול בפסולת לרבות מפעלי מיחזור ומפעלי טיפול תרמי בפסולת המפיקים ממנה אנרגיה³². עם זאת נכון לשנת 2012 לא קיימת רגולציה מחייבת בנושא הפרדת פסולת ביתית אורגנית, בעוד שבמספר ערים קיימות יוזמות מקומיות.

מים

אנרגיה רבה נדרשת להפקה, ייצור והובלה של מים למבנים. אופני הפקת מים שונים (שאיבה מאקוויפר, מימות, מבארות או התפלת מי-ים) דורשים כמויות אנרגיה שונות. כבר עלות אנרגטית זו ניתנת לצמצום באמצעות חסכון במים, אגירת מי-נגר ומיחזור מים ברמת המבנה. מעבר לכך, אחוז ניכר מתצרוכת החשמל בבניינים במרבית מדינות העולם, ובהתאמה כמות הפליטות של גזי החממה המיוצרים, קשורים לחימום מים. באנגליה למשל מוערך שכ-6% מסך הפליטות הארצי נובע מחימום מים בבתים³³. על מנת להפחית פליטות גזי חממה ניתן לעשות שימוש באנרגיות מתחדשות לחימום מים, אך לא רק באמצעות אנרגיה סולרית. קיימים אמצעים יעילים שונים כגון חימום באמצעות פסולת, משאבת חום, גז מעבה ועוד. כמו כן, עידוד הדיירים לקטנת הצריכה וכן בנייה משמרת מים (השהיית נגר עילי ושימור נגר בתחום המגרש, טיפול ושימוש במים אפורים, שימוש חוזר במי מזגנים, שילוב אמצעים לחסכון במים, צמחייה והשקיה חסכוניות מהווים אופנים מרכזיים נוספים בהם ניתן להפחית פליטות גזי חממה הקשורות למשק המים.

ניהול סביבתי של אתר הבנייה

לקבלנים שליטה רבה על פעילויות הקשורות לפליטות גזי חממה באתר הבניה. יש להם השפעה רבה ביותר על: בחירת דלק, בחירת ציוד בנייה, תחזוקת הציוד, שימוש בחשמל ומחזור חומרים. בנוסף, יש להם השפעה מסוימת על בחירת החומרים, על שינועם, על מרחקי הנסיעה של העובדים (יוממות עובדים) ועל הסרת צמחייה ועצים באתר. הפחתת פליטות באתר הבנייה בראש ובראשונה אפשרית מניצול טוב יותר של דלק, המכונה "אנרגיה אפורה" (grey energy). חסכון זה מוביל כמובן גם לחסכון כלכלי משמעותי. למשל, על כל 4 ליטרים דיזל נפלטת 10.1 קילו פחמן דו-חמצני. לעומת זאת, משימוש בכמות המקבילה של גז טבעי נפלטת חצי מכמות הפחמן, כלומר כ-5.3 קילו. יעילות אנרגטית היא לא רק סוג הדלק, אלא גם ניצול טוב

יותר של הצידוד, ומניעת בזבז ופעילות מיותרת כגון השארת משאיות מותנעות בזמן פריקה/טעינה. אין מחקרים מסודרים לגבי כמות הפליטות שיכולה להיחסך בהקשר זה, אך ניתן לקבל הערכה, המסתמכת על כך שמשאית כבדה צורכת כ-4.5 ליטר בשעת עמידה במנוע עובד ושהקטנת זמן העמידה של משאית כבדה יכולה לחסוך כ-10% מזמן התפעול. בנוסף, משמעות רבה קיימת לתחזוקה שוטפת של ציוד הבנייה, כגון מלגזות, צמיגי משאיות, גיל המנוע, ומיומנות הנהג. אחד האמצעים לפקח על יעילות ניהול אתרי בנייה הוא באמצעות "תכניות לניהול אתר". מטרתן להביא לניהול מושכל של כמויות חומרי הגלם ולמניעת בזבז משאבים טבעיים ומעובדים. ראש עריית לונדון הציג תכניות שאפתניות לגבי הכפר האולימפי שנבנה בלונדון לקראת המשחקים האולימפיים המתוכננים לקיץ 2012, ובייחוד בהקשר של צמצום פליטות גזי חממה באתר הבנייה. בין היתר, התוכניות כוללות יעד הפחתה של 50% פליטות גזי חממה באתר הבנייה בהשוואה לאתרים אחרים. בנוסף, 20% מחומרי הבנייה וכ-90% מפסולת הבנייה שתיווצר עקב הריסת מבנים קיימים – ימוחזרו או יועברו לשימוש חוזר.³⁴

חומרים ופסולת בנייה

אחת הדרכים המרכזיות והאפקטיביות ביותר לצמצום תרומתם של חומרי בנייה לפליטות גזי חממה היא על ידי חישוב קפדני של כמות החומרים הדרושה, ניצול יעיל שלהם ולאחר מכן שימוש חוזר בחומרי הבנייה הנותרים ומיחזור פסולת בנייה. פסולת בניין מקורה בבנייה חדשה ובעבודות שיפוץ ועשויה לכלול חומרים שונים ומגוונים כגון אדמה ועפר, בלוקים, בטון מזוין, קרמיקה, מרצפות, עץ, פלסטיק, זכוכית ועוד. כל שלב בבנייה מלווה בעודף פסולת מסוג שונה. ניקיון אתר הבנייה והפרדה במקור (קרי באתר הבנייה) תורמת לאחוז מיחזור גבוה יותר. בהקשר של צמצום כמות הפסולת, דרך נוספת משמעותית להקטנת ההשפעה של האנרגיה הגלומה בחומרי בניין היא על ידי תכנון בתים חדשים שישמשו שנים רבות ושיהיו עמידים ובעלי יכולת הסתגלות גבוהה לתנאים משתנים. על ידי הארכת משך חיי הבניין, העלות האנרגטית הגלומה בבנייה והריסה של מבנה מתפרסת על פני יותר זמן ונחסכים עלויות נוספות של חומרים לבנייה מחדש או שיפוץ.

בנוסף, קיימות שיטות שונות של בנייה מהירה – בנייה קלה, טרומית או מתועשת. בשיטות אלו שלד המבנה מיוצר מראש במפעל. בבנייה קלה שלד המבנה עשוי מאלומיניום או פלדה ואת חללי השלד ממלאים בחומר מבודד (פוליסטירן מוקצף). פנלים מאלומיניום מוגמרים בלוחות בגדלים שונים מאפשרים בנייה מהירה תוך צמצום עלויות מיותרות והשלכות סביבתיות של ייצור בטון בשטח. שיטה נוספת היא באמצעות פרי-קסט, שהוא בטון יצוק לגושים המיוצר ומעוצב במפעל טרם העברתו לאתר הבנייה. הפרי-קסט הוא מרכיב בבנייה ירוקה מכמה סיבות³⁵. ראשית, ייצור של פרי-קסט במפעל מאפשר שליטה בכמות החומרים הנדרשים לייצור, מפחית את כמות פסולת הבניין באתר ומגדיל את כמות החומרים הניתנים למיחזור, כולל המים הדרושים

לתהליך. פרי-קאסט מקטין את כמות המשאיות והנשואה הדרושות לשינוע חומרי הבניין ואת הזיהום והרעש באתר. בתקופת חיי המבנה פרי-קסט יכול לתרום למניעת חדירת אוויר דרך מעטפת הבניין, לחסכון אנרגטי על ידי ניצול המסה הטרמית של הבטון בשילוב חומרים מבודדים ולעמידה בסטנדרטים גבוהים של איכות אוויר בתוך המבנה. לאחר הריסת המבנה, פרי-קסט ניתן לשימוש חוזר כחומר מילוי בכבישים. מספר יתרונות וחסרונות של חומרי בנייה שונים בהקשר של פליטות גזי חממה צוינו בסעיף זה תחת הכותרת **חסכון באנרגיה אופרטיבית**. חומרי בנייה "ירוקים" כוללים למשל עץ (שמקורו ביערות בעלי תקן קיימות בינלאומי), או צמחייה שקצב גידולה מהיר (במבוק, קש), אבן ממוחזרת, מתכת ממוחזרת, סיבי עץ, חימר, בוצ' ועוד. ככל שמקור החומר ומוקד עיבודו הוא מקומי, כך מצטמצמת האנרגיה הגלומה בשינועם.

תכנון עירוני

על פי מחקר שנערך ע"י מרכז PEW בארצות-הברית, בנייה קומפקטית ומתוכננת היטב צורכת 45% פחות שטח, מקטינה עלויות כספיות של סלילת כבישים ב-25%, תשתיות ב-20% ובתי ספר ב-5% ובעלת פוטנציאל הפחתה של בין 3-8% גזי חממה בארה"ב.³⁶ מחקרים על פריסה מרחבית של בניינים והמערכת העירונית מצביעים על קשר ישיר בין מספר הבתים לקמ"ר לבין כמות פליטות פחמן³⁷ (תרשים 4). חוקרים הראו שבפריסה פרברית של 4 בתים ל-4 דונם כמויות הפליטות היו גבוהים ב-25% משכונה עירונית בה 20 בתים בממוצע לכל ארבעה דונם. מחקר אחר הראה קורלציה גבוהה של יעילות אנרגטית עם צפיפות בתים, גודלם ושירות תחבורה ציבורית במרחק הליכה מהבית, בעיקר משום שלפריסה מרחבית של שכונות ויישובים השפעה מכרעת על כמות הנסיעות ברכב הפרטי. מיקום בתים בקרבה למקום תעסוקה, למשל, עשוי להקטין ב-48% את פליטות הפחמן לבית!³⁸ פרמטרים נוספים של תכנון שימושי קרקע משפיעים על שימוש באנרגיה כגון טופוגרפיית פני השטח של השכונה, הגיאומטריה העירונית (צפיפות מבנים, תכנית צמחית, כיווני המבנים, גודל הבתים (קשור ישירות לאורך הרחוב וכמות התשתיות שיש למשוך בהתאמה – חסכון באנרגיה גלומה), והמרחק בין יישובים סמוכים המשפיע על כמות הנסועה³⁹.

לפיכך, צפיפות עירונית גבוהה, קומפקטיות מרחבית ועירוב שימושים⁴⁰ מציעים פוטנציאל הפחתה של גזי חממה משמעותי בשלושה אופנים:

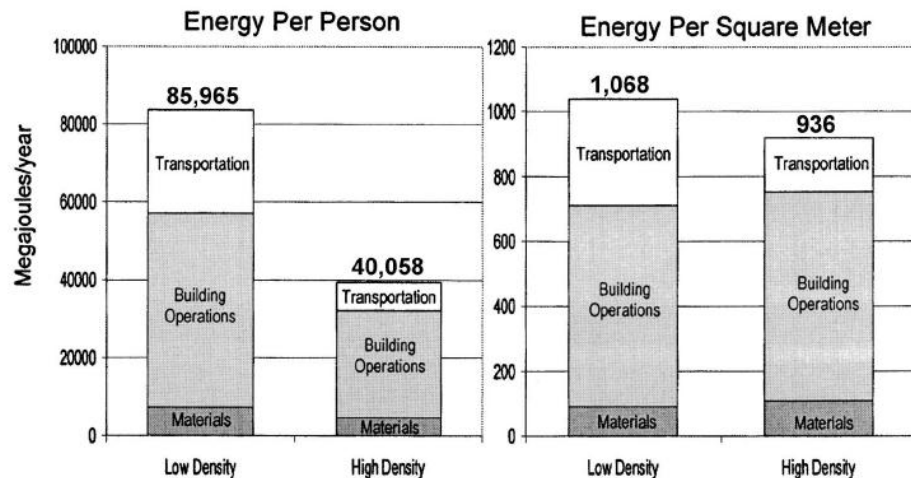
א. הקטנת תלות ונסיעה ברכב – סקטור התחבורה נמצא שני ברשימת המקורות לפליטת פחמן דו-חמצני כתוצאה משימוש בדלק. על הקמת בניינים חדשים או שיפוץ אזורים בנויים קיימים כחלק מפיתוח מתוכנן, להיות תלוי נגישות: בחירת מיקום הבנייה לפי התנאים התחבורתיים, נגישות לשירותי תחבורת המונים (בלונדון, למשל, רק 10% מנסיעות היוממות מתבצעות באמצעות רכב פרטי, בהשוואה ל-40% בשאר המדינה) ופיתוח נתיבים ברי קיימא ולא מזהמים

כגון מסלולי אופניים והליכה⁴¹. הנגישות האזורית של מבני מגורים למקומות תעסוקה, בילוי ומסחר משפיעה באופן ישיר על התלות ברכב. תרשים 3 מדגיש את הבולטות של מרכיב התחבורה בפליטות גזי חממה במרקם העירוני.

ב. הקטנה בצריכת אנרגיה/חשמל לכל יחידת שטח ולאדם כפי שמומחש בתרשים 3.

ג. ירידה בכמות התשתיות העירוניות החדשות הדרושות (מערכות טיהור ביוב, מערכות הולכת מים, תקשורת, חשמל, כבישים ורחובות) ולפיכך חסכון באנרגיה הדרושה להנחת התשתיות ותפעולן.

תרשים 3: השוואה של כמות פליטות גזי חממה לאדם (משמאל) ולמ"ר (מימין) בתנאי עיור של צפיפות גבוהה למול תנאי עיור פרברי בעיר טורונטו שבקנדה. הפרמטרים שנבדקו הם תחבורה, אנרגיה בשימוש בבניין ואנרגיה גלומה בבנייה. מתוך: Norman J., et al., 2006. Comparing high and low residential density: life cycle analysis of energy use and GHG emissions. Journal of Urban Planning and Development 131(1), p.18.



שינויי התנהגות וסגנון חיים

מחקרים רבים הצביעו על הצורך בשינויים התנהגותיים לצמצום טביעת הרגל הפחמנית. מכיוון שמרבית גזי החממה ממבנים נפלטים בזמן השימוש בבניין כתוצאה מצריכת האנרגיה של דייריו, יש לבחון ביתר עומק כיצד שינויים התנהגותיים של אנשים במבנים ייתרמו לפוטנציאל הפחתת פחמן גבוה יותר⁴². שינויים התנהגותיים כוללים את הנכונות להשקיע השקעה ראשונית בבנייה ירוקה, את אופני החיסכון השונים (מים, חשמל), הקטנת הצריכה המובילה לירידה בכמות האשפה, גינון מודע אקלים, בחירת כלי תחבורה וכיוצא

בזה. שינויים התנהגותיים ניתנים להשגה בעלות מזערית או ללא עלות כלל. ניתן להשיגם באמצעות כלי מדיניות שונים, כגון תמריצים, אך אין הם דורשים רגולציה מחמירה. מחקר מקינזי מעריך, שפוטנציאל הפחתת פליטות גזי חממה הנובע בשינויים התנהגותיים בישראל, בעיקר בסקטור הבנייה (ע"י צמצום גודל מבני מגורים, שימוש חסכוני במכשירי חשמל יעילים וכד') והתחבורה (מעבר להליכה, נסיעה באופניים ותחבורה ציבורית, אימוץ דפוסי נהיגה חסכוניים ועוד) עומד על 7.1 מיליון טון שו"ע פחמן דו-חמצני.



לאור הנאמר לעיל ניתן לסכם כי קיים קשר הדוק בין פרקטיקות תכנון ובנייה וחסכון באנרגיה בכלל וחשמל בפרט. כל צמצום בכמות האנרגיה וחשמל בכל אחד מהשלבים במחזור חיי המבנה פירושו פוטנציאל חיסכון בפליטות גזי חממה. מחקרים מראים שהטמעת ההיבטים הסביבתיים כבר בשלבי התכנון הראשונים של מבנים תוביל לחסכון של עשרות אחוזים באנרגיה האופרטיבית הנצרכת במהלך חיי המבנה. גישה אינטגרטיבית של מחזור חיי הבניין הכוללת חסכון באנרגיה האופרטיבית והגלומה, חסכון במים, תכנון שימושי קרקע, מגבלות של אתרי הטמנת פסולת, ניהול סביבתי של אתר הבנייה ושינויי התנהגות צרכנים מצביעה על פוטנציאל חסכון פליטות גזי חממה גבוה בהרבה מחישוב מסורתי המתמקד ביעילות אנרגטית.

פרק 2 – פוטנציאל ההפחתה בישראל

בישראל מיושמים מספר מנגנונים להפחתת פליטות גזי חממה בסקטורים השונים, ביניהם מנגנון הפיתוח הנקי (הוזכר לעיל עמ' 4), תמיכה בפרויקטים להפחתת פליטות במגזרים השונים (תעשייתי, חקלאי, מסחר ושירותים, מוניציפאלי ותחבורתי) וכן מנגנוני רישום ודיווח, כגון: המערך הוולונטרי לרישום ולדיווח של המשרד להגנת הסביבה, מנגנון הדיווח של עיריות בפורום ה-15 ומנגנון תג סביבה של רשויות מקומיות. בנוסף התקבלו מספר החלטות ממשלה שיישומן צפוי לתרום להפחתת פליטות כגון קידום אנרגיות מתחדשות, צמצום בצריכת החשמל, עידוד מו"פ והשקעה בטכנולוגיות לייצור אנרגיה חלופית ושינוי תמהיל הדלקים ומעבר לשימוש בגז טבעי⁴³. וועדה בין-משרדית לעניין הפחתת פליטות גזי חממה, בראשות משרד האוצר (הידועה גם בשם וועדת שני), אישרה בנובמבר 2010 תכנית לאומית ראשונה להפחתת פליטות בהיקף של 2.2 מיליארד ש"ח. התוכנית עוסקת בנושאי ההתייעלות האנרגטית, פסולת, משק המים, תחבורה ובנייה ירוקה. בתחום הבנייה הירוקה הוועדה מעריכה כי פוטנציאל ההפחתה של התייעלות אנרגטית היא 10.59 מיליוני טון בשנת 2020. בפרט, פוטנציאל הפחתה נוסף של גזי חממה ממבנים בבנייה חדשה שיעמדו בתקן הבנייה הירוקה עומד על 0.04 מיליוני טון שו"ע פחמן לשנה במבני מגורים ו-0.28 במבני מסחר. באחת הביקורות שהושמעו בהקשר להמלצות הוועדה בהקשר של סקטור הבנייה נטען כי לא נלקח בחשבון פוטנציאל ההפחתה של שיפוץ מבנים קיימים ושל בנייה בעלת סטנדרטים גבוהים משל התקן הקיים⁴⁴. בד בבד עם הפחתת פליטות, לישראל מניע מרכזי בהקטנת צריכת האנרגיה שלה עקב הסיכון הכרוך בתלות במקורות אנרגיה חיצוניים ובייחוד נפט וכן עקב היותם משאבים מתכלים.

א. התאמת הנתונים על פוטנציאל ההפחתה של בנייה ירוקה לישראל

בישראל, נכון לתחילת שנות ה-2000, יותר מ-1310 קמ"ר של שטח בנוי. מתוכו כ-52% מבני מגורים, כ-27% תעשייה ומסחר וכ-2.3% מבני חינוך⁴⁵. שטח בנוי לתושב משתנה מאוד מעיר לעיר. למשל, בירושלים, 23 מ"ר שטח בנוי לתושב, באשדוד 42 מ"ר לתושב ובתל אביב 82 מ"ר שטח בנוי לתושב. הנתונים כוללים שטח בנוי למגורים, מסחר, הארחה, תעשייה ושירותים ומבני ציבור⁴⁶. משקל ההשקעות בסקטור הבנייה מהתל"ג נמצא בעלייה משנת 2005 ועומד על 8.5%. מבני מגורים ומסחר צורכים כ-60% מסך צריכת החשמל בארץ⁴⁷ ואחראים לכ-50% מסך פליטות גזי החממה של ישראל⁴⁸. על פי דוח מקינזי כמות הפליטות מסקטור זה בשנת 2005 הגיעה ל-24MtCO₂. מלבד CO₂, הגז המשמעותי ביותר בפליטות מבניינים, נפלטות מתאן ו-HFC שמאז אמנת מונטריאול לצמצום החור באוזון, החליף את גז ה-CFC במקרים ומזגנים.

על אף הטענה כי פוטנציאל הפחתת גזי החממה בסקטור הבנייה בישראל הוא נמוך במקצת בהשוואה למדינות אחרות משום שבישראל חימום מים כבר נעשה ברובו על ידי אנרגיה סולארית וכן משום שכמות מכשירי החשמל הביתיים קטנה מזו שבבתי מגורים בהשוואה לארצות הברית ולמערב אירופה⁴⁹, הרי שרוב הבנייה בישראל נעשית בבטון, יש שימוש מצומצם ביותר בקו-גנרציה או שימוש באנרגיות מתחדשות, אחוזי מיחזור ושימוש חוזר בפסולת בנייה נמוכים ודפוסי הפיתוח אינם ממקסמים פתרונות לצמצום התלות בתחבורה פרטית. ההערכות השונות לגבי פוטנציאל ההפחתה נעות אם כן בין 40% ל-60%. למשל, על פי אדם טבע ודין, באמצעות בנייה ירוקה של מבנים חדשים ניתן יהיה לחסוך 9.5 מיליון טון שו"ע פחמן עד לשנת 2025⁵⁰. בהתחשב בנתח היחסי המשמעותי של צריכת אנרגיה על ידי מבנים בארץ מתוך כלל צרכני האנרגיה, קיים מגוון רחב של היבטים בהם קיים פוטנציאל גבוה של חסכון בפליטות גזי חממה.

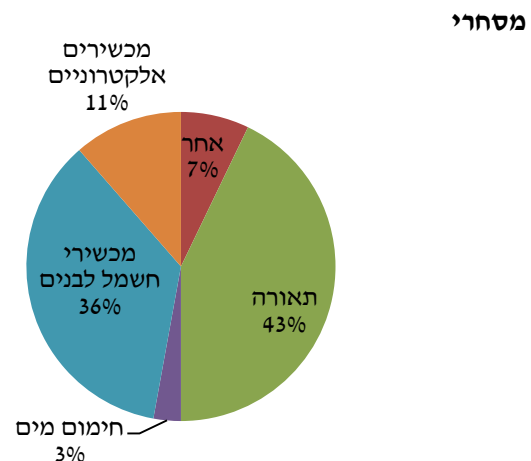
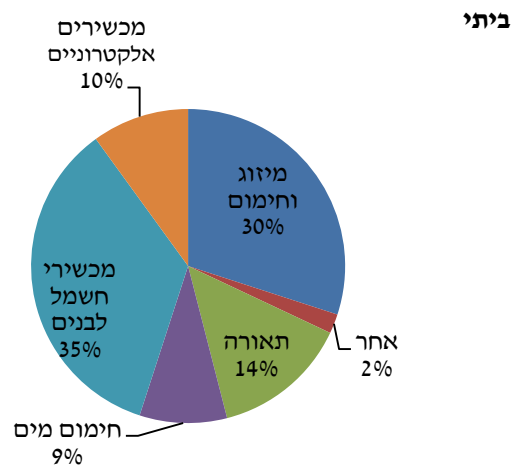
חסכון באנרגיה לצורך אקלים

✦ על פי מחקר שנעשה במוסד שמואל נאמן בשנת 2000⁵¹, צריכת החשמל למיזוג ובקרת אקלים בארץ מהווה כ-20% מצריכת החשמל האופרטיבית הביתית, כאשר במבנים עסקיים וציבוריים הנתון גבוה יותר ומגיע לכ-50% מסך צריכת החשמל במבנה. בעוד שמשרד התשתיות הלאומיות העריך לאחרונה שהנתון המתייחס לצריכת אנרגיה למיזוג הוא למעשה כפול ומגיע ל-40% מסך צריכת חשמל במשקי בית⁵², דוח מקינזי מציג נתון ביניים של כ-30% כפי שמומחש בתרשים 4 (כפי שצוין, קיים מחסור בנתונים מדויקים בארץ בנושא של התפלגות צריכת חשמל במבנים). על ידי בנייה ירוקה ומודעת אקלים ונקיטה של מספר אמצעים הן בבניינים קיימים והן בחדשים, מוערך שניתן להפחית עד כ-9 מיליון טון שו"ע פחמן בשנה. בין האמצעים המוצעים: הצללת חלונות (הפחתה של 16% מצריכת אנרגיה בקיץ), הצללת חלונות בשילוב עם הגדלת חלונות דרומיים והגברת קרינה סולרית בחורף (24% הפחתה בצריכת החשמל) ונקיטת מכלול אמצעים רחב הכולל בנוסף הצללת ובידוד גגות, בידוד קירות, בידוד רצפה וזיגוג חלונות (פוטנציאל של כ-40% הפחתה בצריכת החשמל). על פי מחקר זה, תרחיש אופטימי לפליטות גזי חממה במבנים חדשים לשנת 2020 יגיע להפחתה של כ-7.10 מיליון טון ובמבנים קיימים 8.63 מיליון טון שו"ע פחמן.

✦ בהמשך לדברים אלו, התקן המחייב 1045 לבידוד קירות ותקן 5282 ל"דירוג בניינים לפי צריכת אנרגיה", מהווים את הבסיס לתכנון ולבנייה חוסכת אנרגיה¹⁸. תקן 5282 מתייחס בעיקר לתכנון ביו-אקלימי (או "פאסיבי") והוא מהווה מרכיב מחייב בתקן הישראלי הוולונטרי החדש 5281 לבנייה בת קיימה (בנייה ירוקה)⁵³. התקן החדש כולל פרק בנושא אנרגיה, שמורכב מדירוג הביצועים האקלימיים של המבנה (הצללות, תאורה טבעית, בידוד תרמי, אוורור טבעי, תנאים לייבוש כביסה באוויר טבעי וכו') ומדירוג מערכות מיזוג אוויר (נצילות מזגן, צריכת אנרגיה, סוג אנרגיה). בנוסף,

יעילות אנרגטית של מכשירי חשמל ממוקחת על פי תקנות מקורות אנרגיה (צריכת אנרגיה מרבית למכשיר חשמל ביתי), התש"ע-2009, המחייבים כחוק. על אף שקידום התקן נשען בין היתר על הטענה כי עמידה בו תוביל להפחתה של 30-35% בפליטות גזי החממה של המבנה⁵⁴, אין התייחסות ישירה לנושא הפליטות בתקנים עצמם ואין קריטריונים לדירוג מבנים על פי יכולתם להציג צמצום של פליטות גזי חממה (זאת בניגוד לתקנים אחרים בעולם כמוזכר בפרק 1 סעיף ב' של דו"ח זה).

תרשים 4: התפלגות צריכת אנרגיה במבני מגורים (למעלה) ובמבני מסחר (למטה). מקור: דוח מקינזי מלא בעברית, עמ' 49.

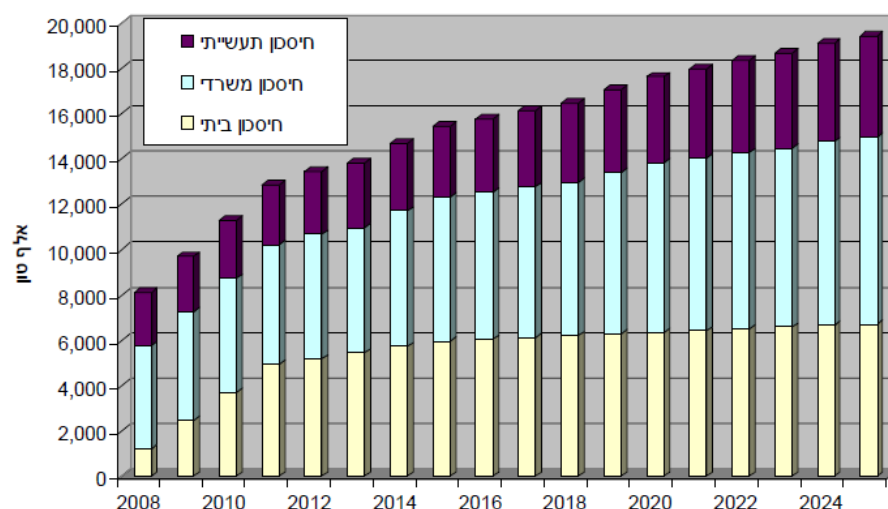


✦ מבני ציבור נחשבים למבנים בהם עקרונות ההתייעלות האנרגטית ניתנים ליישום באופן אפקטיבי ביותר. במרץ 2011 נכנס לספר החוקים של ישראל חוק התייעלות אנרגיה במבני ציבור – שימוש

מושכל במשאבי הטבע – התייעלות אנרגטית⁵⁵. על פי נוסח הצעת החוק, יותקנו נורות חסכוניות בכל המוסדות הציבוריים. מזגנים, מחשבים, תאורה, וציוד חשמלי אחר לא יופעלו לאחר שעות פעילות המבנה. לא יופעלו מכשירי חשמל שניתן להחליפם במכשירי חשמל מקבילים יעילים יותר מבחינה אנרגטית. וסת החום של ציוד המיזוג במבנים ציבוריים יוגבל לטמפרטורה שלא תפחת מ-24 מעלות צלזיוס בקיץ, ולא תעלה על 25 מעלות צלזיוס בחורף. בנוסף, אחראי פיקוח יגיש לממונה תכנית התייעלות שנתית למתקן הציבורי שבפיקוחו, אשר תביא להתייעלות של לא פחות מ-1% בצריכה הקבועה של המתקן הציבורי, לעומת צריכת הבסיס⁵⁶.

✦ תרומתם של גגות ירוקים להפחתת פליטות פחמן בישראל נבחנה במחקר שהוכן לעיריית ירושלים על ידי חברת סיטי לינק בשנת 2008⁵⁷. נמצא שאכן קיימים יתרונות רבים לגגות ירוקים על מבנים וביניהם הגברת הבידוד התרמי של המבנה, הפחתת אי-החום העירוני, מיתון מי הנגר העילי, הפחתת מזהמים ותוספת שטחים ירוקים לעיר. על מנת שגג ירוק יתרום לבידוד המבנה, מבחינה אקלימית ואקוסטית, יש צורך לקחת בחשבון את עומק המצע. עומק מינימאלי של מצע ירוק עשוי לתרום למיתון מי נגר עילי אך לא יצלח להקטנה משמעותית של כמות החום שמועברת דרך הגג. מבחינת הכלים הרגולטיביים הקיימים כיום בישראל, ניתן יהיה לחייב להקים גינות על גגות במקרים של בנייה חדשה בלבד על ידי עיגון הנושא בהיתר הבנייה או התב"ע (תכנית בנין-עיר). לפיכך, על מנת לנצל באופן מידי את הפוטנציאל של גגות ירוקים מוצע לקדם את הנושא גם באמצעות תקנות וולונטריות ותמריצים כספיים.

תרשים 5: פוטנציאל הפחתת פליטות כתוצאה מחסכון באנרגיה אופרטיבית במבנים. מתוך: אדם טבע ודין (2008). מאפקט החממה לצמיחה חכמה.



מקורות אנרגיה אלטרנטיביים: קו-גנרציה ואנרגיה סולארית

הפוטנציאל של קו-גנרציה של חום וחשמל בישראל לחסכון אנרגטי הוא נמוך בהשוואה למדינות אירופה וארצות הברית משום שלא קיים אותו הצורך בארץ בחימום מרכזי של מבנים. לפיכך הפוטנציאל של קו-גנרציה משמעותי פחות במגזר הביתי אך בהחלט קיים בהקשר של מבני תעשייה ומבנים נוספים, היכולים לעשות שימוש בחום שיורי (כדוגמת בתי חולים). מאחר וקיים קושי להקצאת קרקע לשדות סולאריים, מערכות קו-גנרציה מקטינות את בעיית הרזרבות של חשמל תוך שימוש מצומצם בקרקעות⁵⁸. קיימות בארץ תקנות לעידוד הקמתם ותפעולם של מתקני קו-גנרציה ומכירת החשמל לחברת החשמל. לקו-גנרציה יתרונות סביבתיים בולטים בייחוד כאשר מערכת הייצור מופעלת בגז טבעי. יש לזכור כי השימוש בגז טבעי בארץ עודנו מוגבל: מתקני קו-גנרציה בארץ (תעשיות חיפה כימיקלים, מפעלי נייר אמריקאים-ישראלים, דשנים וכו') פעלו על מזוט וסולר, אך בעוד שחלקן עברו הסבה לגז טבעי, חלקן פועלות על סולר עד היום. לעומת זאת תחנת הכוח שהוקמה באשקלון בתפוקה של כ-83 קילו וואט והמיועדת להפעלת מתקן ההתפלה הסמוך, מבוססת מלכתחילה על גז טבעי, אך בד בבד המשך השימוש בגז טבעי תלוי במחירו ובאמינות האספקה. על אף זאת, מומחים בארץ טוענים שניתן לקדם הקמתן של תחנות קו-גנרציה (בהיקף של כ-3000MW) ובעלות פוטנציאל של שימור 10% מכלל צריכת האנרגיה במשק, באמצעות מנגנון הפיתוח הנקי הבינלאומי (CDM) להפחתת גזי חממה שיעזור במימון של הקמת המתקנים⁵⁹.

במקביל, פוטנציאל שימוש בפאנלים סולריים על גגות מבנים בישראל מוערך בהיתכנות פריסה של 251 קמ"ר. האומדן הזהיר, הכולל התקנת פאנלים סולאריים רק על גגות גדולים (מעל 800 מ"ר), מעריך את יכולת ייצור החשמל ב-2500 מגה וואט, שהם כ-7% מסך ייצור החשמל בישראל⁶⁰. בפועל כמות הייצור עומדת על 160 מגה וואט בלבד ומותנית במכסות הנקבעות על ידי משרד התשתיות. בנוסף, החלטת ממשלה מס' 3748 מתאריך 17.7.2011 מגבילה את כמות המכסות של חשמל סולארי ממתקנים מכל הסוגים והגדלים (גגות ושדות) המלוות בעלות משקית (קרי שנמכרות לח"ח) ל-1430 מגה וואט. לפיכך נראה כי החלטות ממשלה בתחום האנרגיה הסולארית אינן מיושמות הלכה למעשה וכי הפוטנציאל בתחום איננו ממומש.

חסכון במים

בישראל חימום מים בבתים רבים יחסית למקומות אחרים בעולם מתבצע באמצעות דודי שמש סולריים, ולפיכך אופן חימום המים נחשב כבעל פוטנציאל נמוך ומוגבל להפחתת פליטות גזי חממה⁶¹. יחד עם זאת, מעבר לחשמל מבוסס על גז כגיבוי למערכות חימום מים ומשאבות חום יאפשר חסכון נוסף. וכן העובדה כי כיום מבנים רבים בבנייה רוויה לא נדרשים לספק מערכת סולרית לחימום מים (חוק התכנון והבנייה מחייב

התקנת דודי שמש רק בבנייה של עד 9 קומות ואיננו חל על בתי חולים, בתי סוהר, בתי אבות, בתי מלון מבני תעשייה ומבנים בבסיסי צה"ל) מצמצמת את פוטנציאל ההפחתה וכן יוצרת סטנדרטים חדשים בהם לא מקובלת התקנת מערכת סולרית לחימום מים, מה שעלול לגרום לשחיקה בנתונים הגבוהים של חסכון הקיימים כיום.

עם זאת, כמות המים הנצרכת, ולא אופן החימום שלהם הוא הנתון המשמעותי והמנוע לחסכון, שכן מדינת ישראל, השרויה במצב תמידי של מחסור במים, מפיקה מים באמצעים עתירי אנרגיה. למעשה, סקטור המים מהווה הצרכן הבודד הגדול ביותר של חשמל. כ-6% מהחשמל המיוצר על ידי חברת החשמל נצרך בהפקת מים, הובלתם והטיפול בהם⁶² ועל פי מחקר מקינזי צריכה זו אחראית ל-2 מיליון טון גזי חממה מדי שנה. נתון זה צפוי לגדול ב-4%-2% בשנים הקרובות עם הקמתם של כל מתקני התפלת מי-ים המתוכננים⁶³. הפחתת פליטות על ידי חסכון במים באמצעים טכנולוגיים קיימים (כגון 'חסכמים' ומיכלי הדחה דו-כמותיים) הנה אם כן משמעותית משום שזו עשויה לתרום להקטנת הייצור של מים "יקרים" הן כלכלית והן אנרגטית. על פי מחקר שנעשה באוסטרליה, מפעל התפלה בעל הספק של ייצור 45 מיליון מטרים מעוקבים בשנה מייצר 135,000 טון גזי חממה אם מקור האנרגיה שלו מבוסס על פחם בלבד. אומנם בארץ חלק ממפעלי ההתפלה עובדים על גז טבעי, החסכוני ב-50% בפליטות גזי חממה, אך נכון לשנת 2012 מתקני התפלה הגדולים ביותר (120 מיליון מטר קוב באשקלון ו-127 מלמ"ק בחדרה) מקבלים את אספקת האנרגיה הדרושה להם מחברת החשמל, שנכון להיום מייצרת חשמל בתמהיל המבוסס על יותר מ-50% פחם. בדומה לפוטנציאל ההפחתה של אנרגיה במבנים שמקורו בביזור של מערכות חשמל, יהיה ניתן לחסוך כ-50% מצריכת המים הביתית על ידי מערכות מבוזרות לשימוש חוזר במים ("מים אפורים")⁶⁴ ולחסוך את העלות האנרגטית שמקורה בהפקתם ובטיפולם במכוני טיהור השפכים⁶⁵. על פי דו"ח של אדם טבע ודין, התקנה של מערכות טיהור לשימוש חוזר במים בקרב שליש מהאוכלוסייה בישראל יכול להביא לחיסכון של כ-50 מיליון מ"ק מים מותפלים בשנה, קרי, כ-135,000 טון שו"ע פחמן.

חומרי בנייה, ניהול סביבתי של אתר הבנייה ומיחזור פסולת בנייה

ראשית, ישראל מייצרת קרוב ל-7 מיליון טון של פסולת יבשה בשנה, 4 מיליון טון פסולת בנייה ו-3 מיליון טון עודפי עפר. על פי מודל שפותח בארץ חושב ש-1 מ"ר בנייה חדשה למגורים מייצר 0.01 מטר מעוקב (מ"ק) פסולת ברזל, 0.04 מ"ק נייר ו-0.09 מ"ק חומרים אינרטיים קרי בטון וחומרי גלם אחרים המרכיבים את המבנה⁶⁶. בחישוב כולל, לכל 1 מ"ר נלווה כ-0.2 מ"ק פסולת, הכמות משתנה בהתאם בסוג המבנה. מממצאי עבודה שנעשתה בטכניון עולה שכ-64% מפסולת הבניין באתר הבנייה מכילה חומרים הניתנים למחזור כאשר הצעד הראשון יהיה תהליך הפרדה באתר באמצעים פשוטים יחסית. אכן, התקן הישראלי החדש

לבנייה ירוקה ת"י 5281 (2011) מעניק ניקוד מרבי על הפרדה ואחסון באתר הבנייה של פסולת בניין הניתנת למחזור או שימוש חוזר. הקריטריון להערכה תלוי בפיתוחן ויישומן של תכניות לניהול פסולת בניין שתזהה את החומרים שניתן להסיט ממטמנות, שתגדיר יעדים לכמות הפסולת שיש להסיט ותקבע נהלים לניטור מדידה ולדיווח על כמויות הפסולת באתר. בנוסף נדרש פתרון אחסון נוח ונגיש לפסולת הממוינת. ניקוד נוסף ניתן על צמצום כמות פסולת הבניין ועודפי העפר על ידי קידום השימוש החוזר באתר עצמו, באתרים אחרים או בסילוקם לאתרים מורשים. למעשה קיימת החלטת ממשלה מספר 2927 כבר משנת 2003 בנושא פסולת בניין, המתייחסת להסרת מטרדים של פסולת בניין, לשיטות של הפחתה במקור, מיחזור והטמנה ולקידום פתרונות קצה. על פי הנתונים של המשרד להגנת הסביבה, כמות פסולת הבניין הממוחזרת אומנם הולכת וגדלה באופן משמעותי עם השנים אך כשל מרכזי בתחום הטיפול נובע ממחסור באתרים המספקים פתרונות קצה לפסולת הבנייה⁶⁷. בנוסף עולה הטענה החשובה כי כמות ניכרת (כ-80%-70!) מפסולת הבניין בארץ כלל איננה עוברת תהליכי מיון וטיפול מסודרים אלא מגיעה למטמנות או אתרי פסולת בלתי מורשים.

שנית, בעוד שסך הכרייה עמד, בשנת 2008 למשל, על כ- 51,000 אלפי טון, מהם כ- 31,000 אלפי טון אגרגטים (חצץ ומצעים), שוק חומרי הגלם בישראל עשוי להרוויח כ- 3 מיליון טון אגרגטים בשנה מפסולת בנייה לבדה⁶⁸. על אף שהנושא בעל חשיבות רבה לאור משאבי כרייה וחציבה המוגבלים בשטח המדינה, אדם טבע ודין מעריכים כי רק 25% מפסולת הבנייה אכן עוברת מיחזור. אחד הפתרונות המוצעים קובע כי יש לתקן את חוק חובת המכרזים כך שהחברות הממשלתיות יהיו חייבות לעשות שימוש בחומרים ממוחזרים.

שלישית, יש מקום לשקול בקונטקסט הישראלי כלי בתקן לבנייה ירוקה שיטמיע התייחסות לנושא שלד הבניין ולהתאים את הדרישות למאפייני חומרי הבנייה ומקורם, זאת משום שייצור מלט - מרכיב מרכזי בשלד מבנים בארץ - הוא התהליך התעשייתי החשוב ביותר בפליטת פחמן דו-חמצני בישראל שלא במגזר האנרגיה⁶⁹.

תכנון עירוני

בהקשר הישראלי, מגמות הציפוף, תכנון משולב תחבורה ציבורית, נגישות, וערוב שימושים לוקים בחסר. נכון לשנת 2006-2007, בנייה צמודת-קרקע היוותה 42% מכלל בנייה מגורים בישראל. נתון זה לבדו מלמד רמת היעילות של המרחב הבנוי בארץ. המחקר האחרון בנושא יוממות נערך על ידי הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה בשנת 1997. קיים מחקר עדכני משנת 2010 על נסועה שנתית לרכב (קילומטרז') של הלשכה אך אין מיפוי של סיבות הנסיעה המצביעות על הקשר בין תכנון עירוני ושימוש בכלי רכב. הנתון העדכני ביותר על יוממות מצביע על כך ש-51% מכלל המועסקים בארץ עובדים מחוץ ליישוב מגוריהם, כאשר מרחק הנסיעה

הממוצע של 12% מכלל היוםמים היה 21.9 ק"מ נכון לשנים 2002-2004⁷⁰. לא ניתן עם זאת להסתמך על נתון זה לצורך חישובי פליטות פחמן משום שמדובר במרחק ממוצע של נסיעה בקו אווירי. נתונים אלו, עם כן, וודאי שאינם מעודכנים או ממצים את מגמות היוםמומות ולפיכך יש צורך במחקר עדכני בנושא. מחקר המכמת את מרחקי היוםמומות בארץ יצביע על השפעות התכנון העירוני הקיים של מבני מגורים למול אזורי תעסוקה ומסחר ועל נסועה ברכב פרטי לצרכים שונים וייתן מידע על ההשלכות הסביבתיות הכרוכות בנסיעות רכב פרטי ובייחוד פליטות גזי החממה. בעמוד 16 בדו"ח זה צוין הקשר בין תכנון עירוני-מרחבי לפליטות גזי חממה. חשוב לציין שהמקור לנתונים הוא בארה"ב ולפיכך יש לקחת אותם בערבון מוגבל מאחר וצפיפות הבנייה בארץ ובייחוד באזורי החוף המיושבים, הם גבוהים במיוחד. עם זאת, שיפור התחבורה הציבורית ועידוד תחבורה חלופית (מסלולי אופניים והליכה), עירוב שימושים (למשל כאשר קומות הקרקע מוקצות למקומות עבודה והקומות העליונות למגורים או כאשר אזור עירוני משמש במקביל למגורים, למוסדות ציבור ומסחר), ועיבוי יישובים קיימים (פרויקטים של התחדשות עירונית ואכלוס בתים נטושים) הם כלים מרכזיים להפחתת פליטות הקשורות בתכנון עירוני. בין היתר, לתכנון הסביבתי בארץ פוטנציאל להפחית את רמת הנסועה ברכב, להגדיל את אזורי החיץ הירוקים וספיחת פחמן, ולכלול אלמנטים כגון שימוש בתאורת רחוב חסכונית, פחי מיחזור עירוניים ושימור מי-נגר⁷¹.

ב. פוטנציאל ההפחתה בבנייה חדשה לעומת מבנים קיימים

בנייה חדשה

ראשית, בבנייה חדשה ניתן ליישם תכנון חכם ויעיל על פי עקרונות של בנייה ירוקה וכפי שפורטו לאורך מסמך זה (החל בתכנון תלוי אקלים של כיווני רחובות ובניינים, דרך תכנון אקלימי של המבנה עצמו, ניהול סביבתי של אתר הבנייה, שימוש בחומרי בנייה ממחוזרים וכלה בשימוש במערכות מיזוג ומכשירים יעילים). שנית, בבניינים חדשים ניתן לשלב בקלות רבה יותר מאשר במבנים קיימים טכנולוגיות חדשניות שהינן יעילות אנרגטית ומצמצמות את פליטת גזי החממה. יש לציין כי טכנולוגיות חדשות המשתלבות בקלות יחסית בבניינים חדשים, חודרות לאחר מכן לבניינים קיימים לצורך שיפוץ (renovation) ושיפור תפקודם האנרגטי (retrofit).

קיימת חשיבות רבה להפנמת עקרונות בנייה ירוקה במבנים חדשים בישראל משום שקצב בנייתם גבוה ועולה בהתמדה. לשם המחשה, היקף השטח בתהליכי בינוי בחודש יוני 2011 עמד על 18.8 מיליון מ"ר, גידול של כ-13% בשנה (כאשר שטח הבנייה למגורים מהווה 76%). ביוני 2011 עמד היקף דירות המגורים בבנייה על 75,905, גידול של כ-14% לעומת יוני 2010. הנתון של היקף ההשקעות בבנייה (בשנת 2011 עמד על כ-39

מיליארד ₪ בערכים שוטפים, גידול ריאלי של של כ-12% משנת 2009)⁷², מעיד גם הוא על היקף הבנייה החדשה בארץ. על פי תכניות משרד התשתיות, היקף הבנייה העתידית הצפוי עד שנת 2040, לכל הייעודים, הוא כ-290 מיליון מ"ר. בהתאם לכך יידרשו כ-550 מיליון טון חומרי גלם (אגרגטים, חול ומלט)⁷³. משמעות קצב הגידול על הסביבה בכלל ופליטות גזי חממה בפרט ברורה. הפחתת פליטות ממבנים חדשים ע"י פרקטיקות של בנייה ירוקה היא לפיכך הכרחית על מנת לעמוד ביעדים לאומיים של צמצום פליטות. על פי דו"ח של אדם טבע ודין משנת 2008, אפשר באמצעות בנייה ירוקה להגיע לחסכון של יותר מ-6000 קוט"ש בבנייני ציבור ויותר מ-100 קוט"ש למטר מרובע במגזר הביתי, שווה ערך לפוטנציאל חסכון של 9500 אלפי טון שו"ע פחמן דו חמצני⁴³.

היבט נוסף קשור לאורך חיי הבניין. ככל שבניין מתוכנן ונבנה על מנת להחזיק מעמד מספר שנים רב יותר, כך קיים פוטנציאל הפחתת פליטות רב יותר מהסקטור כולו כי נמנע תהליך של הריסה ובנייה מחדש. במבנים חדשים מדובר על פוטנציאל הפחתה ביחס לתרחיש "עסקים כרגיל", על ידי צמצום בכמות הפליטות בזמן הבנייה ופליטות עתידיות בתקופת השימוש בבניין ולאחר מכן בעקבות הריסתו (גישת מחזור חיי-הבניין). צמצום בפליטות יתרום הלכה למעשה להפחתה בכלל הפליטות של ישראל.

מבנים קיימים

בד בבד עם קצב בנייה חדשה גבוה, מבנים קיימים מהווים את המסה העיקרית של הבינוי. מוערך שבארה"ב 86% מכלל ההוצאות על בנייה מושקעות בשיפוץ של מבנים קיימים ולא בבנייה חדשה. בלונדון מוערך שכ-70% מהבניינים הקיימים היום ישמשו גם בשנת 2050. לכך יש להוסיף את העובדה שכל המבנים החדשים יהיו זקוקים גם הם לשיפוץ ושיפור תפקודם לאורך תקופת חייהם. משרד התשתיות הלאומיות ערך מחקר על הפוטנציאל הכלכלי והסביבתי ביישום תכנית התייעלות אנרגטית במבנים קיימים. עם יישום התוכנית במגזר הביתי הכוללת תקנות חדשות ליעילות אנרגטית של מכשירי חשמל, שינוי התנהגות צרכנית ומתן תמריצים לשכבות חלשות, צפוי המשק לחסוך בשנת 2020 בלבד 5.8 מיליון טון שו"ע פחמן דו-חמצני ועד שנת 2020 היקף מצטבר של כ-37.5 מיליון טון. במגזר הציבורי, התייעלות אנרגטית במבנים (תאורה, מיזוג ומכשירים חשמליים) תביא בשנת 2020 לבדה הפחתה של 890 אלף טון שו"ע פחמן ועד שנת 2020 הפחתה בהיקף מצטבר של כ-4.2 מיליון טון שו"ע פחמן. באמצעות תכנית התייעלות דומה למבנים ציבוריים ומסחריים צפוי המשק לחסוך בשנת 2020 בלבד 2.73 מיליון טון שו"ע פחמן ועד שנת 2020 היקף מצטבר של כ-14.7 מיליון טון. במגזר התעשייתי צפוי המשק לחסוך בשנת 2020 בלבד 2.1 מיליון טון שו"ע פחמן ועד שנת 2020 היקף מצטבר של כ-11.3 מיליון טון שו"ע פחמן⁷⁴. על פי חישוב זה קיים פוטנציאל הפחתה כולל

של 67.7 מיליון טון גזי חממה במבנים קיימים בעיקר תודות להתקנה מחדש של מערכות תאורה ובקרת אקלים (retrofitting).

נתוני משרד התשתיות מתייחסים לחסכון שמקורו בהחלפת מכשירים, מערכות ונורות ואינם כוללים את פוטנציאל ההתייעלות האנרגטית הקיים בפעולות של בנייה ירוקה המצמצמות את התלות במכשירי החשמל כגון: שיפור איטום ובידוד, שיפור זיגוג, הצללות שיפור פוטנציאל האוורור הטבעי, התקנת מערכות חוסכות מים, טיפול במי נגר וכן שיפור החזיתות ושטח הפיתוח במטרה להפחית את תופעת אי החום העירוני, שבעקיפין מצמצמת את התלות בצורך במערכות אקלים.

כפי שצוין בהקשר של מבנים חדשים, הארכת חייו של המבנה ברמת תפקוד גבוהה, במקרה של מבנה קיים על ידי שיפוצו, בעלת פוטנציאל חיסכון רב באנרגיה גלומה. הפחתת פליטות גזי חממה ממבנים קיימים ושיפור יעילותם האנרגטית חורגת מעבר לאבזור מחדש של מכשירים ומערכות מיזוג וכוללת שיפור בידוד, מעטפת, זיגוג, הצללות, מערכות לחסכון במים, שינויי התנהגות ועוד. על אף החוסר הקיים במחקרים בארץ המכמתים את הפוטנציאל הגלום באלמנטים אלו, ניתן ללמוד עליהם ממקרי החקר כפי שמפורטים בפרק הבא של דוח זה. בנוסף, מבנים קיימים כמעט ואינם דורשים משיכה של תשתיות חדשות ובכך מסייע השיפוצ לחסכון הקשור בתכנון עירוני ופריסת שימושי הקרקע (עיבוי עירוני), שמירה על שטחים פתוחים ותורם להתחדשות עירונית. נקודה נוספת שכדאי לקחת בחשבון בהקשר זה היא הפוטנציאל הקיים בתוכנית מתאר ארצית (תמ"א) 38 לרעידות אדמה, לקדם שיפוצ של מבנים קיימים⁷⁵. טענות בדבר העלויות הכלכליות הגבוהות והחזרי השקעה נמוכים של שיפוצ יהפכו ללא רלוונטיות ברגע שיוסרו חסמי וכשלי השוק (מחסור באדריכלים וטכנאים בעלי ידע מתאים, מחיר החשמל, הטמעה של נושא שיפוצ אנרגטי בתוכניות סטטוטוריות, גיבוש תכניות תמריצים ועוד). לסיכום סעיף זה ניתן לומר כי האתגר בקידום היעילות הפיזית והכלכלית כאחד של שיפוצ מבנים טמון הן בזירה המחקרית והן בזירת המדיניות וכי יש מקום רב להמשך הדיון בנושא.



לסיכום פרק זה, שנגע בפוטנציאל הפחתת פליטות גזי חממה בישראל בסקטור הבנייה, חשוב לציין שניתן, שחוק ההתייעלות האנרגטית מתייחס רק למכשירים אלקטרוניים אך למעשה מכשירים מהווים רק חלק מפוטנציאל ההפחתה ולמעשה ניתן להגיע למיצוי גבוה יותר של הפוטנציאל מתוך הסתכלות בגישת מחזור חיי הבניין, על נושאים נוספים הקשורים באלמנטים "פסיביים" (כגון בידוד והצללה), על חסכון במים,

הפרדת אשפה שינוי התנהגותי וכיוצא בזה. טבלה 3 מסכמת את הנתונים המרכזיים לפרק זה הקשורים לפליטות גזי חממה ומציעה הסתכלות על מרכיבים שבמרבית המקרים אינם מקבלים התייחסות מספקת בכלי המדיניות המרכזיים (חוקים, תקנות ותמריצים).

טבלה 3: סיכום פוטנציאל התרומה של פרקטיקות בנייה ירוקה לתוכנית הלאומית להפחתת פליטות בישראל

נושא	מרכיבים אופרטיביים מרכזיים	הערכת פוטנציאל התרומה לתוכנית הלאומית להפחתת פליטות*	זירות האחראיות המרכזיות וכלים ליישום	מידת ישימות	טווח הזמן** הסביר ליישום	חסמים מרכזיים
חסכון באנרגיה לצורך אקלים	בידוד קירות, רצפות, חלונות וקירות הפניית פתחים וגודלם	++++	ת"י 5281, ת"י 5282, אדריכלים	גבוהה	מיידי	אי רצון להשקיע עלות כספית וזמן תכנון, חוסר מודעות, מחסור ביד מכוונת ומתמרכת ברמה הממשלתית
	אוויר טבעי ותאורה טבעית	++++	ת"י 5281, ת"י 5282, אדריכלים			
	גגות "קרים"	+++	ת"י 5281, קידום מודעות			
	גגות "ירוקים"	++	ת"י 5281, וועדות תכנון – עיגון בתב"ע, רשויות עירוניות-תמריצים כספיים, תקנות וולונטריות. קידום מודעות			
מקורות אנרגיה	ייצור אנרגיה ממקורות נקיים או מתחדשים (בעיקר סולארי) לצריכה ישירה בבניינים	+++	משרד התשתיות, משרד להגנת הסביבה, משרד האוצר – מכסות	בינונית	מיידי ובינוני	קשיים טכניים, צריכת מים (חשוב שהצמחייה תהיה חסכונית במים), תחרות על שימושים - מגורים, מגמה רווחת של גגות פרטית (פנטהאוזים ודירות גג).
	ייצור אנרגיה מקומית, הפחתת הולכה והפחתת איבודי אנרגיה בהולכה	++	משרד התשתיות ורשות החשמל-רישיונות לייצור חשמל פרטי, משרד האוצר, חברת חשמל			
	חימום מים (שימור היתרון של ישראל בשימוש באנרגיה מתחדשת לחימום מים, הגדלת הדרישה להתקנת דודי שמש גם במבנים	+++	ת"י 5281, חוק התכנון והבנייה, משרד התשתיות, רשויות מקומיות			

גבוהים מ-8 קומות, התקנת מערכות גיבוי חשבוניות וידידותיות לסביבה)					לאטרנטיבות קיימות, תקציב
חסכון במים	בנייה משמרת מים	+	ת"י 5281	גבוהה	בינוני
	מערכות לשימוש חוזר במים	++	ת"י 5281, תקן בנושא מים אפורים (נכתב בימים אלו במכון התקנים), משרד הבריאות, המשרד להגנת הסביבה, רשות המים	גבוהה	מידי וביננו
	אמצעי חסכון מים כגון "חסכמים"	++	ת"י 5821, רשות המים, תוכניות תמריצים	גבוהה	מידי
ניהול סביבתי של אתר הבנייה וניהול פסולת בניין	הכנת תכנית ניהול אתר	+++	ת"י 5281 ותקינות נוספות, קבלנים, משרד הבינוי והשיכון, המשרד להגנת הסביבה	גבוהה	מידי
	שימוש בחומרי בניין ממוחזרים	++++		גבוהה	מידי עד בינוני
	הפרדת פסולת באתר לצורך מיחזור או שימוש חוזר	++++		בינונית. תלויה	בינוני עד רחוק
תכנון עירוני סביבתי	צפיפות עירונית גבוהה	++++	כלי תכנון ותוכניות בניין-עיר. זירת האחריות נמצאת בהחלטות ממשלה, משרד הפנים ומנהל התכנון, וועדות תכנון, משרד הבינוי והשיכון, משרדי אדריכלים ומתכננים	גבוהה	מידי עד
	עירוב שימושים	++++		בינונית	רחוק.
	הפניית רחובות	+++		רלוונטי	תלוי מאוד
	הקטנת הנסועה ברכב פרטי ותכנון עירוני מוטה תחבורה ציבורית	++++		בעיקר בבנייה חדשה	ביכולת להסיר חסמים
פסולת ביתית	הפרדה בין פסולת יבשה לאורגנית וקומפוסטיזציה	++	דיירים, רשויות עירוניות	בינונית עד גבוהה	מידי וביננו
שינויי פרקטיקות התנהגותיות	רכישת מכשירים יעילים	+++	קידום מודעות אצל דיירים, תקנות מכשירי-חשמל, תכנית תמריצים להחלפת מכשירים ישנים. משרד התשתיות	גבוהה	מידי
	חסכון בחשמל, מים ומוצרים בלתי-מתכלים	++++	קידום מודעות		
	הפרדת פסולת במקור	+++			
	הוצאת מכשירים מהתקע	+++			
	הוספת חיישנים בחדרים	+++			
	תפעול בניינים ירוקים	++++	קידום מודעות בקרב דיירים ומשתמשים	גבוהה	מידי
			הדרכות של דיירים וחברות ניהול בשימוש		

נכון באלמנטים ירוקים בבנייה ירוקה וכן בבנייה קיימת שעברה retrofitting						
קיומן של אלטרנטיבות ותחבורה ציבורית נגישה ויעילה, תקציב, רצון פוליטי, שינויים במערך מיסוי	בינוני	ישימות ריאלית בינונית	קידום מודעות, משרד התחבורה, רשויות מקומיות, משרד האוצר, המשרד להגנת הסביבה	++++	צמצום השימוש ברכב פרטי	
קבעון בפרקטיקות בנייה מוכרות, העדר ידע מקצועי, העדר רגולציה, תקנים מחייבים ותמריצים, עלויות מידיות	מידי עד רחוק	ישימות ריאלית גבוהה בהיקף קטן	רשויות מקומיות, משרד הפנים, משרד השיכון והבינוי, משרד להגנת הסביבה, מכון התקנים	++++	בנייה ע"פ תקן לבנייה ירוקה	בנייה חדשה
מודעות ועלויות מידיות	מידי ובינוני	גבוהה עד בינונית	תמ"א 38, תכניות תמריצים, רשויות מקומיות, משרד הפנים, משרד השיכון והבינוי, משרד להגנת הסביבה, מכון התקנים	++++	שיפוץ ו-retrofitting ע"פ התקן	מבנים קיימים

* תרומה ביחס לעלות השקעת הון (אנושי, זמן, כספי)

+ נמוכה
++ בינונית
+++ גבוהה
++++ גבוהה מאוד

** טווח יישום

מידי ; 1-2 שנים
בינוני ; 3-5 שנים
ארוך ; 5-10 שנים

פרק 3 – מקרי מבחן מובילים בעולם להפחתת גזי חממה באמצעות בנייה ירוקה

א. מבנים ברמת פליטות נמוכה או ברמת אפס פחמן (low/zero-carbon building)

מבנים ברמת אפס פחמן הם מבנים בעלי צריכת חשמל אופטימלית, המיוצר מאנרגיות מתחדשות, אם בייצור מקומי ברמת הבניין ואם מרשת קווי החשמל. ההגדרה משתנה בין מדינות. באנגליה למשל הוחלט לאחרונה כי על מנת שמבנה יוגדר ברמת אפס פחמן החישוב יכלול גם קיזוז (off-setting) של צריכת חשמל של מכשירים בבניין, מה שמכונה "אנרגיה לא מפוקחת" (unregulated energy). לא בכל מבנה ניתן להשיג יעילות שכזו. בתי חולים ומעבדות למשל זקוקים ליותר מדי חשמל מכדי שיוכלו לייצר באופן עצמאי. גם מבנים גבוהים הם מועמדים בעייתיים בגלל הצורך של פאנלים סולריים, כמקור אנרגיה בלתי מזהם, בשטח פנים רב. עם זאת, על פי המשרד לאנרגיה בממשל האמריקאי, לפחות 22% מהמבנים המסחריים החדשים בעלי פוטנציאל של רמת אפס פחמן כבר היום ו-64% עם טכנולוגיות שיהיו זמינות בשנת 2025⁷⁶, על פי ההגדרה של בניין ברמת אפס-פחמן כבניין שמייצר כמות אנרגיה כזו שתספק את הצרכים במהלך חייו⁷⁷. בנייה ברמת אפס פחמן מנטרלת הלכה למעשה כל תוספת פליטות גזי חממה של סקטור הבנייה, ומונעת את העלייה הצפויה של כמות הפליטות בתרחיש "עסקים כרגיל" ובכך תורמת משמעותית למאמץ מדיני להפחתת פליטות.

Science House במוזיאון המדעים של מינסוטה⁷⁸

בניית האגף החדש במוזיאון המדע במינסוטה הושלמה ביוני 2003 והשימוש במבנה החל שנה לאחר מכן. גודלו 142 מ"ר והוא זכה לדירוג של מבנה ברמת אפס-אנרגיה, שפירושו שהמבנה מייצר 8.8kW באמצעות מערכת פוטו-וולטאית, יותר אנרגיה ממה שהוא צורך על בסיס שנתי. המבנה צורך כל כך מעט אנרגיה בזכות עיצובו ולמעשה מבחינת האנרגיה האופרטיבית שלו איננו פולט גזי חממה כלל. אסטרטגיות מרכזיות ליעילות אנרגטית כוללות: שימוש באור טבעי לחסכון בהוצאות תאורה, משאבות חום (ground-source heat pumps) לצרכי האקלים (חום וקור) של המבנה וחימום מים, תכנון לחימום סולרי פאסיבי לצמצום העומס על משאבת החום ובקרה ושליטה על איכות האוויר בתוך המבנה. הבניין נבנה בשטח מופר על גדות נהר המיסיסיפי שבעבר שימש כמטמנת אשפה. המבנה כולל מערכת לאיסוף מי גשמים בד בבד עם גינון המבוסס על עקרונות הפארמקלציר המאפשר חלחול אופטימלי של מי נגר. כל העצים ששימשו בתהליך הבנייה מאושרים על ידי המועצה לניהול בר-קיימא של יערות (FSC). הקבלן התחייב לעשות שימוש בחומרי בנייה

המכילים אחוז גבוה של חומר ממוחזר וכן דאוג למחזור ושימוש חוזר בפסולת הבנייה ככל הניתן. בתוך המבנה דואגים ליישומה של תכנית מחזור על בסיס יום-יומי.



תמונה של אחורי המבנה והגג הסולארי. מקור: re-ARCH

פיילוט AusZEH, ויקטוריה, אוסטרליה⁷⁹

על פי מכון המחקר האוסטרלי CSIRO, אנרגיה בשימוש במבנים יוצרת 26% מכלל פליטות גזי החממה באוסטרליה. מחצית מכלל הפליטות הן מבנייני מגורים, כתוצאה מתלות רבה במיזוג אוויר, תאורה, ומכשירי חשמל. מחקרים ביבשת מצביעים על פוטנציאל הפחתה של 63 מיליון טון של גזי חממה באמצעות בנייה חדשה ברמת אפס פחמן. חסכון של מעל ל-60 מיליון טון יהיה שווה ערך להורדת כל המכוניות באוסטרליה מהכביש למשך שנתיים וחצי, או להשבת כל תחנות הכוח למשך 100 ימים על פי ההגדרה האוסטרלית, מבנה ברמת אפס פחמן אינו פולט פחמן דו חמצני או גזי חממה אחרים כתוצאה ישירה ובלתי ישירה של צריכה ושימוש באנרגיה במבנה או באתר. צריכת אנרגיה כוללת 1. חימום וקירור 2. חימום מים 3. מכשירים במבנה ובאתר הבנייה. פיילוט מתוך הפרויקט Zero Emission House (AusZEH) תוכנן ונבנה 30 קמ' צפונית למלבורן. הבית בגודל 240 מטרים רבועים. הפיילוט מוכיח את הישגות של בית ברמת אפס-פחמן בעלות סבירה למשפחה אוסטרלית ממוצעת. היעילות האנרגטית של הבית בין ארבעת החדרים הובטחה באמצעות: התקנת מערכת לייצור אנרגיה סולרית בהיקף של 6 קילו וואט על הגג (על פי חישובים החזר מלא על ההשקעה יתקבל תוך 8 שנים בלבד), התאמת תכנון מעטפת הבית לאקלים המקומי מבחינת שימוש בחומרים, מיקום והפניית פתחים, התקנת מערכת ביתית לניטור, ניהול ובקרת חשמל, התקנת מערכת אגירת גשמים המנוצלים להדחת אסלות, מערכת טיהור מים אפורים לשימוש בגינה ומערכות בקרת אקלים יעילות. האנרגיה הגלומה במהלך הבנייה נוטרלה באמצעות carbon offset (נטיעת עצים או ייצור אנרגיה מתחדשת באתר אחר למשל). הבית, שכבר אוכלס על ידי משפחה אוסטרלית מאפשר חסכון של 70%

בצריכת האנרגיה וחסכון של 46% שו"ע פחמן דו חמצני בהשוואה לבתים דומים בגודלם באותו אזור. לבסוף, פליטות גזי החממה בזמן הבנייה באתר קוזזו על ידי קניית קרדיט (offset by purchased carbon credit). חשוב לסייג הישגים אלו של בנייה ירוקה צמודת-קרקע משום שפרקטיקה זו צורכת משאבי קרקע יקרים (בישראל) וכן מובילה לרמת נסועה גבוהה (כפי שהוצג בתרשים 4). הדוגמאות הבאות יתרכזו בפרקטיקות של בנייה עירונית ברמת צפיפות בינונית וגבוהה.



דגם הבית. מקור: Ambrose, M., CSIRO

ב. ערים ושכונות ירוקות (Eco-towns/ neighborhoods)

ערים ושכונות ירוקות נועדו לספק מענה לשלושה אתגרים: הפחתת פליטות, הצורך בקידום חיים ומגורים ברי-קיימא והצורך להמשיך ולהגדיל את מצאי המגורים הקיים תוך צמצום הפגיעה בשטחים פתוחים. תכנון ירוק בהיקף של עיר או שכונה מספק הזדמנויות רבות לרשויות מקומיות, קבלנים וקונים פוטנציאליים להשקיע בחדשנות טכנולוגית ותכנונית תוך ניצול יתרון הגודל להפחתת העלויות. כמו כן, תכנון ברמה השכונתית מאפשר התייחסות טובה יותר לנושאים הקשורים בתשתיות משותפות, בתחבורה, במרחב הציבורי ובתכנון רחובות, בנגישות, עירוב שימושים, תעסוקה ועוד.

וואבן (Vauban), פרייבורג, גרמניה

העיר פרייבורג ידועה כעיר האקולוגית ביותר בגרמניה. וואבן היא שכונה של 1362 יחידות דיור, כ-5000 תושבים ו-600 מקומות תעסוקה, הממוקמת 4 ק"מ דרומית למרכז העיר פרייבורג, על שטח ששימש בעבר כבסיס צבאי. בנייתה החלה באמצע שנות ה-90 ובשנת 2001 החל אכלוסה. כל הבתים בוואבן עומדים בסטנדרטים של יעילות צריכת החשמל הגבוהה ביותר על פי התקן הגרמני (Passivhaus standard), כלומר

צורכים עד $65 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$ (לשם השוואה מבנה ישן בגרמניה צורך $200 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$). עשרות בתים מתוכם אף מייצרים יותר חשמל ממה שהם מסוגלים לצרוך. טכנולוגיות חסכוניות בגזי חממה כוללות למשל תחנת כח מקומית הפועלת בקו-גנרציה (חשמל וחום), דודי שמש ופאנלים סולריים (תרמי ופוטו-וולטאי). אמצעים אחרים לחסכון בפליטות גזי חממה כוללים "מגורים ללא מכונות" וללא שטח חנייה צמוד-מגורים. התוצאה היא שקרוב ל-50% מתושבי השכונה אינם מחזיקים ברכב ונעזרים במערכת תחבורה ציבורית טובה, דרכי גישה להולכי רגל ואופניים (64% מכלל הנסיעות נעשות ברגל או באופניים) ומערכת מסודרת של טרמפים (car-pool). בנוסף, תכנון עירוני השם דגש על גישות למרכזי קניות, פארקים ציבוריים ובתי ספר מפחית את הצורך בנסיעות ברכב פרטי. בנוסף בשכונה מספר פיילוטים לייצור ביו-גז מפסולת ביתית וביוב. התוצאה היא תרומת הפחתה של 28 GJ אנרגיה או 2100 טון שו"ע פחמן דו-חמצני בשנה, נכון לשנת 2002⁸⁰.



בתמונות חזיתות של מבני מגורים בשכונת וואבן. ניתן לראות את ההצללה על המרפסות שעליה מותקנים הפאנלים הסולריים, את הצמחייה הירוקה המספקת הצללה נוספת ואת מתקני המיחזור והאופניים.

ג. שיפוץ ו-retrofitting של מבנים קיימים

Empire State Building, ניו-יורק, ארה"ב

דוגמא משכנעת ביותר לשדרוג מבנים היא המהפך שעבר האמפייר סטייט בילדינג בניו-יורק. השיפוץ כלל החלפה של כל אלפי חלונות הזכוכית ושיפור הבידוד, החלפת מערכות הרדיאטורים הישנות והתקנת מערכות

בקרר של חום, קור ותאורה. השקעה של 20 מיליון דולר השיגה הפחתה של 38% בצריכת האנרגיה של הבניין הגבוה הזה, קרי חסכון של 4.4 מיליון דולר לשנה המאפשר את החזרת ההשקעה תוך 3-4 שנים בלבד וחסכון של 105,000 טון גזי חממה לאורך 15 השנים הבאות.⁸¹

פרויקט האיחוד האירופי לשיפוץ מבנים בפולין The Clearinghouse Support project⁸²

במסגרת תכנית האיחוד האירופי להתייעלות אנרגטית משנת 2006 הוקצו תקציבים לפרויקטים רחבי היקף במספר מדינות, ביניהן פולין, צ'כיה, לטביה ויוון. בפולין לבדה יצאו לפועל 72 פרויקטים שסך תרומתם להפחתה תהיה שוות ערך ל- 170,000 מגה וואט לשעה בצריכת חשמל במבנים ו- 6424 טון שו"ע פחמן מדי שנה. כ-75% מהפרויקטים יועדו למבנים במגזר הציבורי – בתי חולים ובתי ספר והשאר למבני מגורים. מרבית הפרויקטים כללו אמצעי התייעלות אנרגטית פשוטים, כגון שיפור הבידוד. בנוסף, בחלקם הותקנו פאנלים סולריים על גבי הגגות ודודי מים הפועלים על ביומס. בנוסף שופרו מערכות בקרת האקלים, התאורה והאוורור.

ד. תכניות אב / אסטרטגיות

תכניות אב או תכניות אסטרטגיות (ברמה לאומית, מחוזית או מקומית) מייצרות חזון ארוך טווח ומתוות דרכי פעולה אופרטיביות להגשמתו. בעידן המאמצים הגלובליים להפחתת גזי חממה, תכניות אב עירוניות רבות כוללות אסטרטגיית פעולה בניהול.⁸³

תכנית אב לעיר ניו-יורק, ארה"ב PlaNYC2030⁸⁴

התוכנית ארוכת-הטווח לעיר ניו-יורק מציבה יעד ברור לצמצום גזי החממה של העיר ב-30% עד שנת 2030.⁸⁵ פרק הבניינים מציג גם הוא יעדים שאפתניים. קרוב ל-75% מכלל פליטות שו"ע פחמן של העיר ניו-יורק מקורן באנרגיה בשימוש בבניינים. עד שנת 2030 צפוי גידול של 15% בכמות הבניינים בעיר. עד שנת 2011, מאמצי התייעלות אנרגטית במבנים צפויים להפחית את כמות הפליטות ב-4.5 מיליון טון, השווים להפחתה של 7.5% מסך הפליטות של העיר בשנת 2005. על מנת לעמוד ביעד ההפחתה, הותקנה סדרה של דרישות מחייבות ליעילות אנרגטית של מבנים ציבוריים ובתי מגורים קיימים, כאשר חוקים חדשים נוספים נקבעו גם לכל הבנייה החדשה. בנוסף נקבעו מדדי הערכת ביצועים שקופים לציבור ותוכניות שדרוג למבני ציבור גדולים. על ידי התמקדות ב-16,000 המבנים הגדולים ביותר בעיר, החולשים על כחצי משטח העיר ואחראים ל-45% מסך הפליטות העירוניות, תכנית הבניינים הגדולים הירוקים (Greener Greater Buildings Plan) תתרום להפחתה של 5% פליטות גזי חממה, תחסוך 700 מיליון דולר מדי שנה ותיצור 17,800 משרות בענף הבנייה במהלך העשור הקרוב.

⁸⁶ **תכנית אב לעיר סידני, אוסטרליה Sydney 2030**

העיר הציבה יעד של 70% הפחתת פליטות גזי חממה עד 2030 ביחס לשנת 2006. תכנית האב. בין האמצעים להשגת היעד: התקנת דודי שמש במבנים קהילתיים, פרויקטים של retrofitting במבנים קיימים (כבר הובילו להפחתת 18% מהפליטות), סיום מכרז להקמת תחנת כוח מקומית על בסיס טרי-קוגנרציה (חשמל, חום וקור) לשימוש במבנים, שילוש כמויות הנסועה באופניים לאחר שדרוג מערך המסלולים בעיר, החלפת כל המנורות ברחובות העיר למנורות LED (כבר שיפרה את היעילות האנרגטית הכוללת של התאורה בעיר ב-50%), זיהוי מוקדים עירוניים מבונים הזקוקים לשיפוץ, שדרוג ואכלוס מחדש, וכן השקת תכניות שמטרתן עידוד בנייה ירוקה וניהול נכון של מים, אנרגיה ופסולת ברמת המבנה. התכנון מתבסס על קידום ייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות, ש-27% ממנו ייוצר בתוך העיר, בין היתר מ-40,000 טון פסולת של מבני מגורים הנאספת מדי שנה.

⁸⁷ **תכנית אב לעיר אמסטרדם, הולנד New Amsterdam Climate**

תכנית האב להפחתת פליטות של העיר אמסטרדם מקדישה שני פרקים למבנים ומפרידה בין בניינים קיימים וחדשים בכל אחד מהמגזרים – מגורים, מסחרי וציבורי. העירייה התחייבה לערוך ניטור של פליטות גזי חממה בעיר על בסיס שנתי וקבעה יעד ההפחתה של 40% עד שנת 2025 ביחס לרמת הפליטות בשנת 1990. לצורך עמידה ביעדים ומאבק בשינויי האקלים רשות העיר מקדמת מספר פרויקטים ביניהם שיפור התקשורת עם הציבור על ידי הקמת אתרים בהם יוצגו נתונים ותינתן לציבור אפשרות להגיב וכן הקמת קרן שתמוך המיזמים שיש בהם פוטנציאל הפחתה משמעותי. באמצעות בנייה ברמת אפס פחמן, בסקטור המגורים למשל, מוערך שמבנים חדשים ירוקים יתרמו להפחתה של 27kt פחמן מסך ההפחתה המתוכננת בעזרת מעבר לאספקת חשמל מתשתית מקומית, אגירה תרמית של אנרגיה, ייצור אנרגיה ממקורות מתחדשים ותכנון המבנים על פי עקרונות הבנייה הירוקה (אוריינטציה, בידוד וכו'). לגבי מבני מגורים קיימים, באמצע שנות ה-2000 אנרגיה בשימוש ייצרה 34% מסך הפליטות העירוניות כתוצאה מבנייה בסטנדרט נמוך ובלתי יעיל אנרגטית. בנוסף, חלה עלייה מתמדת בצריכת האנרגיה השנתית לבית. באמצעות בידוד, התקנת חלונות כפולים, התקנת מערכות חימום יעילות ושיפור האוורור, מקווים בעיר לתרום להפחתה של 300kt פחמן מדי שנה. אחד המרכיבים החשובים בתוכנית הוא הדוגמא האישית שמצגיה העירייה על ידי הפיכת מבנים עירוניים לניטרליים מבחינת גזי החממה, כלומר, מבני ציבור, תאורת רחוב ורכבי העירייה יעברו שיפוץ או החלפה כך שכמות צריכת האנרגיה שלהם תפחת באופן משמעותי ומקורו

יהיה באנרגיות מתחדשות. ייבחנו אפשרויות לקיזוז פליטות הפחמן להן תהיה אחראית העירייה לאחר שיושמו מגוון האמצעים.

תכנית "פעולה אקלימית" 2008-2012, מקסיקו סיטי Climate Action Plan⁸⁸

תכנית זו הציגה מדיניות אינטגרטיבית בנושא הפחתת פליטות לעיר מקסיקו סיטי בהציבה יעד הפחתה של 12% או 7 מיליון טון שו"ע פחמן דו-חמצני. בתחומי השפעת התוכנית נכללו סקטור התחבורה והבנייה (מגורים ומסחר), מבני ציבור, תחנות הרכבת התחתית ופארקים ציבוריים. בסקטור הבנייה קודמו התוכניות הבאות: תכנית המבנים המקיימים (32,000 בתי מגורים חדשים וקיימים שעברו הסמכה לתקן ירוק ע"י הוספת פאנלים סולריים, מערכות שימור מים ואנרגיה, וחיבור למערכת טיפול בשפכים), תכנית התאורה היעילה (כללה חלוקה של עשרה מיליון נורות חסכוניות לבתי מגורים קיימים בחסכון של 270,000 טון שו"ע פחמן מדי שנה), תכנית תמריצי מיסוי (לעידוד הסבת בתי מגורים ומסחר לעמידה בדרישות תקן בנייה ירוקה עם פוטנציאל חסכון של 25,000 טון פחמן מדי שנה), תכנית אנרגיה ירוקה (עידוד השימוש באנרגיה סולרית במבני ציבור וממשל עם פוטנציאל חסכון של 25,000 טון שו"ע פחמן לשנה) ותכנית גגות ירוקים (בעלת היעד של יירוק גגות בשטח כולל של 30,000 מטר מרובע). תכנית נוספת הצליחה להעלות ב-40% את כמות הנסיעות באופניים בעיר. בעוד שרוב התכנית הן וולונטריות, משרדי ממשלה ומבני ציבור חויבו לעמוד בדרישות. תכנית ה"פעולה האקלימית" זכתה בפרס מנהיגות מקומית למלחמה בשינויי אקלים המוענקת על ידי המועצה העולמית לבנייה ירוקה.

ה. רגולציה

הרגולציה הקיימת היום בסקטור הבנייה העולמי מסתמכת ברובה על קודים של בנייה ירוקה, חלקם מחייבים וחלקם וולונטריים. לצד תמריצים מסוגים שונים (דוגמאות בהמשך), מתרחב השימוש במס פחמן לעידוד הפחתה בשימוש באנרגיה בכל המגזרים, כולל סקטור הבנייה. הקוד האנגלי לבתים מקיימים המפורט בסעיף זה מהווה דוגמא מובילה לקישור בין בנייה ירוקה והפחתת פליטות גזי חממה.

הקוד לבתים ברי-קיימא, אנגליה The Code for Sustainable Homes⁸⁹

הקוד, שהשתלב במערכת הרגולציה הבריטית החדשה (משנת 2007) של בנייה ירוקה תחת ה-EPBD, מציג סטנדרטים מינימליים למבני מגורים חדשים הקשורים לפליטות פחמן וזיהום, מים, תכנון המבנה, חומרים, אקולוגיה בסביבת המבנה, ניהול, פסולת, בריאות, ונגישות. הקוד מדרג את מידת הקיימות של המבנה (בין דרגות 1 ל-6) על פי הקטגוריות הנ"ל. עד שנת 2013 כל הבתים החדשים יחויבו לעמוד בסטנדרט בדרגה 3 לפחות ובדרגה הגבוהה ביותר עד לשנת 2016. הקוד גמיש ויזמים יכולים לבחור באילו תחומים הם משקיעים

יותר על מנת לצבור את הנקודות, מלבד מספר דרישות בסיסיות כגון: שיפור היעילות האנרגטית ב-10% בהשוואה לבניין דומה שנבנה ב-2006 (ע"י שיפור הבידוד של חלונות, קירות וגגות), שיפור רמת האוורור, התקנת דודי מים יעילים וכדו'). על מנת להשיג דירוג גבוה יותר, אלמנטים כגון ייעוד מקום לחניית אופניים, מתן אפשרות להפיכת אחד החדרים למשרד ביתי, שימוש בחומרי בנייה ידידותיים לסביבה והכנת תשתית למיחזור ביתי, למשל של קומפוסט. דוגמאות ליעדי הפחתה של אנרגיה וגזי חממה וחסכון במים על פי הקוד מופיעות בטבלה:

Minimum standards		
Code Level	Category	Minimum Standard
1(★)	Energy/CO ₂ Percentage improvement over Target Emission Rate (TER) as determined by the 2006 Building Regulation Standards	10%
2(★★)		18%
3(★★★)		25%
4(★★★★)		44%
5(★★★★★)		100%
6(★★★★★★)		A 'zero carbon home' (heating, lighting, hot water and all other energy uses in the home)
1(★)	Water Internal potable water consumption measured in litres per person per day (l/p/d)	120 l/p/d
2(★★)		120 l/p/d
3(★★★)		105 l/p/d
4(★★★★)		105 l/p/d
5(★★★★★)		80 l/p/d
6(★★★★★★)		80 l/p/d

הטבלה הבאה מפרטת את פוטנציאל ההפחתה של גזי חממה בהשגת כל אחת מהדרגות של הקוד⁹⁰:

הקוד לבנייה בת-קיימא	פוטנציאל ההפחתה ב-MtCO ₂ לשנה
דרגה 1	1.36
דרגה 2	2.45
דרגה 3	3.40
דרגה 4	5.98
דרגה 5	13.60
דרגה 6	23.60

באמצעות הקוד קיים קישור ישיר בין יישום פרקטיקות של בנייה ירוקה למאמץ הלאומי להפחתת פליטות גזי חממה. פרקטיקות אלו חורגות מהתייעלות אנרגטית שמקורה בהחלפת מכשירים וכוללות הסתכלות רחבה ומקיפה על כל הפעולות המרכיבות בנייה ירוקה. כמו כן מאפשר קישור זה כימות של פוטנציאל ההפחתה לבניין יחיד ויצירת מידע (Data) על ההפחתה הכוללת שמקורה בסקטור הבנייה לטובת מחקרים, בחינת כדאיות כלכלית וכן ליצירת מכשירים רגולטיביים נוספים כגון תמריצים.

1. תמריצים

העלות הנוספת של בנייה יעילה אנרגטית עשויה להוות מכשול בפני חלחול פרקטיקות של בנייה ירוקה, בייחוד במקרים של בנייה פרטית. במדינות שונות קיימים מגוון של מערכות תמריצים שמטרתן הוזלת העלויות הנוספות או טיפול בקשיים טכניים נלווים. התמריצים כוללים למשל הלוואות בריבית נמוכה ושינוי או הוזלת מערך המיסוי, קרנות לבנייה ירוקה, סבסוד, מענקים, הלוואות ותמריצים מימוניים ביוזמת השוק הפרטי.⁹¹

התייעלות אנרגטית במבני מגורים, לונדון, פרויקט RE:NEW⁹²

תמריצים לבנייה ירוקה בדרך כלל מופנים לקבלנים וחברות בנייה על מנת לעודד פרקטיקות של בנייה מודעת אקלים וסביבתית יותר. דוגמא מעניינת למערך תמריצים המיועדת דווקא לדיירי מבנים היא תכנית התמריצים להתייעלות אנרגטית בבתי מגורים שהושקה על ידי הממשל המקומי של לונדון. מוערך שפרויקטים של retrofitting של מבנים ברחבי העיר בלונדון עשויים לתרום להפחתה של כ-1.5 מיליון טון שו"ע פחמן לשנה. מטרת התוכנית היא לעזור לבתי האב בעיר לשפר את היעילות האנרגטית של בתי המגורים וכתוצאה לחסוך פליטות גזי חממה. התוכנית מיועדת למגוון של מבני מגורים: בבעלות פרטית, דירות מושכרות ודיר ציבורי. חבילת התמריצים כוללת ייעוץ הניתן בחינם, הכולל איתור האלמנטים הבעייתיים במבנה מבחינת יעילות אנרגטית, סקירה של הפוטנציאל לשיפור והאמצעים השונים באמצעותם ניתן יהיה לשפר את תפקוד המבנה והערכה של זכאות לתמיכה כספית או החזר מס על שיפוץ. בנוסף מותקנים ללא עלות אמצעים טכנולוגיים פשוטים לחסכון בחשמל, כגון: אמצעי אטימה לחלונות כנגד לחות, אמצעי בידוד לדודי מים, מכשיר המציג צריכת חשמל, נורות חסכוניות, מתקנים חוסכי מים באסלות ועוד.

תמריץ מימוני ביוזמת השוק הפרטי: הלוואות לבנייה ירוקה של KfW, גרמניה⁹³

משנת 2001 קבוצת ה-Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) בגרמניה מספקת תמיכה כספית לשיפוץ אנרגטי ואבזור במטרה לקדם את היעילות האנרגטית של מבנים קיימים ומבנים חדשים. התוכנית מגדירה 5 רמות של יעילות אנרגטית. הגבוהה בהם מוגדרת כ-"KfW יעילות 55" והנמוכה בהם מוגדרת כ-"KfW יעילות 115". המספרים מציינים באחוזים, כמה מתוך הסטנדרט של קוד הבנייה הגרמני, הבית צורך. במקרה והבית יצרוך 55% חשמל ביחס לקוד, תינתן התמיכה הגדולה ביותר. הדרישות לשיפוץ כוללות: בידוד תרמי של קירות, גג ושטח רצפה, החלפת חלונות ודלתות חיצוניות, התקנת מערכת אוורור והחלפה של מערכת החימום הישנה. התמיכה ניתנת כמענק או הלוואה. סכום ההלוואה מגיע עד 75,000 יורו והן נקיות

מריבית במשך מספר שנים. בשנת 2008, ה-KfW תמך ב-280,000 פרויקטים בסכום כולל של 6.7 מיליארד יורו. ההפחתה של גזי חממה מפרויקטים אלו מוערכת בכ-760,000 אלף טון שו"ע פחמן דו-חמצני.



מקרי בוחן אלו מלמדים על מגוון כלים לקידום הפחתת פליטות גזי חממה באמצעות פרקטיקות של בנייה ירוקה. הטבלה הבאה מצביאה על הרלוונטיות של כל אחד מהכלים בהקשר הישראלי.

טבלה 4: סיכום מקרי הבוחן בהקשר של סקטור הבנייה הישראלי

מכשיר מרכזי	כיצד ניתן ליישמו בישראל?	לאילו סוגי מבנים רלוונטי?	טווח ישימות*	חסמים
קריטריונים לבחינה מקרי הבוחן				
א. מבנים ברמת פליטות נמוכה או ברמת אפס פחמן	הגדרת מבנה "אפס-פחמן" וקביעת פרקטיקות לעמידה בהגדרה זו	הטמעת שיח הפחמן בתקנים לבנייה ירוקה, הגדרה מקומית של מבנה "אפס-פחמן"	תלוי בבדיקה ובהגדרה מקומית של מבנה "אפס-פחמן". בעיקר מבני ציבור, מתנ"סים, בתי-מגורים פרטיים	בינוני ידע, רגולציה והסדרת מיתקנים קטנים לייצור אנרגיה מתחדשת
ב. ערים ושכונות ירוקות	תכנון עירוני המקדם איכות חיים לצד חסכון בפליטות וצמצום הפגיעה בשטחים פתוחים	הטמעת שיח הפחמן בתהליכי תכנון, שינוי פרקטיקות תכנון	כל סוגי המבנים	מידי רצון פוליטי, ידע, פרקטיקות תכנון ישנות, אינטרסים של פיתוח
ג. שיפוץ ו-retrofitting	התייעלות אנרגטית של מבנים קיימים באמצעות בידוד וטכנולוגיות	הפיכת התקנים לדירוג אנרגטי מוולונטריים למחייבים, הקמת מנגנון ליישום	כל סוגי המבנים	מידי תמריצים, רצון פוליטי, אי מוכנות השוק
ד. תכניות אב /אסטרטגיות	קביעת יעדים מוגדרים להפחתה ברמה העירונית	הטמעת שיח הפחמן בתוכניות אב	כל המבנים	מידי-בינוני מודעות ורצון פוליטי
ה. רגולציה	קודים לבנייה ירוקה ורגולציה של פליטות	הטמעת שיח הפחמן בתקנים לבנייה ירוקה, מס פחמן, קביעת גוף רגולטיבי לנושא	כל המבנים	בינוני רצון פוליטי, מחסור באחריות מיניסטריאלית לנושא
ו. תמריצים	הוזלת עלויות של בנייה ירוקה במבנים חדשים וקיימים	הקמת קרן ייעודית לנושא, תכניות תמריצים	כל המבנים	מידי-בינוני חוסר שיתוף פעולה בין בעלי-עניין, אי מוכנות השוק

* מידי: 1-2 שנים, בינוני: 3-5 שנים, ארוך: 10-5 שנים

לסיכום, התייחסות לפליטות גזי חממה בתהליכי בנייה, שימוש במבנים והריסתם מהווה ברחבי העולם מסגרת-על לקידום פרקטיקות בנייה שפגיעתם בסביבה ובבריאות האדם פחותה. הואיל וכל שלב ושלב במחזור חיי המבנה אחראי לכמות פליטות מסוימת, השגת יעדים לאומיים להפחתת פליטות דורשת תכנון מקדים וארוך טווח של מבנים בפרט ואזורי יישוב ותעסוקה בכלל. בהתאם לזאת ומתוך הדוגמאות לעיל, בייחוד בולטים היתרונות של תכניות אב בערים בקביעת מסגרת יישומית להפחתת פליטות גזי חממה בסקטור הבנייה. תכניות אלו משמשות כמנגנון אינטגרטיבי בעל יעדים מוגדרים והצעדים הדרושים על מנת לעמוד בהם. בנוסף, ניתן לראות כיצד יעד של מבנים ברמת אפס-פחמן הינם אפשריים להשגה וכיצד נגזר מתוך יעד זה שיפור ניכר בכל מערכות התפקוד של הבניין כולל רמת הנצילות של משאבי טבע ובייחוד אנרגיה ומים. לבסוף, היות שמאמצים לאומיים של מדינות שונות להפחתת פליטות מקבלים ביטוי ישיר גם בקודי בנייה, תכניות תמריצים ותכנון של שכונות חדשות, יכולות המדינות לכמת ולהציג "כללי משחק" ברורים בסקטור הבנייה המשפיעים באופן ישיר על יכולת עמידה ביעדים, רתימת בעלי העניין ולבסוף שינויי פרקטיקות התנהגות ברמות החברה והפרט.

-
- UNEP. 2007. Buildings and Climate Change: Status, Challenges and Opportunities, United Nations¹
Environment Programme; The Stern Review: the economics of climate change. 2006. Executive
summary, UK. http://www.direct.gov.uk/en/N11/Newsroom/DG_064854
<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter6.pdf>²
ביטרמן, מ. ורייש, ר., 2009. פרק הבנייה מתוך: ישראל מול משבר האקלים - סיכונים לעומת הזדמנויות כלכליות.
קואליציית דרכים לקיימות.
בניה ירוקה וניהול אנרגיה, מצגת של מכון התקנים הישראלי. הוצג בכנס האיכות השני בגליל, אורט בראודה, 2009.
חישוב פליטות נעשה על ידי המרת כל הגזים לשווי ערך למיליון מטרי טון (Mt CO₂eq). 1 מיליון מטרי (million or)⁵
million metric שווה ל-1000 קילוגרם.
Olivier, JGJ., et al., 2011. Long-term trend in global CO₂ emissions. 2011 report. PBL Netherlands⁶
Environmental Assessment Agency.
פליטות של גזי חממה, לפי מקור. 2011, שנתון סטטיסטי לישראל, 2011, למ"ס.
Yanai, M., Koch, J. and Dayan, U., 2010. Trends in CO₂ emissions in Israel – an international⁸
perspective. Climatic Change 101(3-4):555-563
The Ministry of Environmental Protection, 2011, Israel's second national communication on climate⁹
change. Submitted under the UNFCCC, Jerusalem.
מקיני, 2009. פוטנציאל הפחתת גזי חממה בישראל, המסמך המלא, המשרד להגנת הסביבה.¹⁰
Alpert, P. & Michaels, L., 2011. The history of late 20th and early 21th century anthropogenic climate¹¹
change in Israel. In: Tal, D. Orenstein, D. and C. Miller, (eds.) *An Environmental History of Israel*.
University of Pittsburgh Press.
Levine, M. et al 2007, "Residential and commercial buildings" in *Climate Change 2007: Mitigation*.¹²
Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on
Climate Change, B Metz, OR Davidson, PR Bosh, R Dave, LA Meyers (eds), Cambridge Press, Cambridge
and New York.

- <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter6.pdf> ¹³
- ליאור, כ., 2011. כדאיות כלכלית של בנייה ירוקה. המועצה הישראלית לבניה ירוקה. ¹⁴
- טל, א., 2007. תקן ISO 14001 לניהול סביבתי, מרכז המידע והמחקר של הכנסת. ¹⁵
- Fischer, E.A., 2010. Issues in Green Building and the Federal Response: An Introduction. DIANE Publishing, US ¹⁶
- BREEAM UK 2011 version: A summary paper of the technical changes. Available at: ¹⁷
- http://www.breeam.org/filelibrary/BREEAM%202011/BREEAM_2011_Open_letter_and_summary_paper_PDF.pdf ¹⁸
- Brown et al., 2005, toward a climate-friendly built environment, Pew center for global climate change. ¹⁹
- Sustainable homes, 1999, Embodied energy in residential property development: A guide for Registered Social Landlords, UK. ²⁰
- חישובים של פוטנציאל הפחתת גזי-חממה מבוססים על חישובי פליטות שווי ערך (שו"ע) פחמן לקילו וואט שעה. נתונים אלו משתנים בהתאם למקור האנרגיה בו משתמשים להפקת חשמל, כאשר פחם אחראי לייצור 0.8-1.05 גרם לכל קילו וואט וגז טבעי לכ- 0.6 גרם לקילו וואט. נתונים אלו מבוססים על דוח פרלמנטרי משנת 2006, אנגליה: ²¹
- www.parliament.uk/documents/upload/postpn268.pdf
- פרלמנטר, ד., אביתר, א., מאיר, י., עציון, י., רופא, י., מדרוך לבנייה ביו-אקלימית בישראל. היחידה לאדריכלות ובינוי ערים במדבר, המכונים לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושטיין. נמצא באתר של משרד התשתיות. ²²
- <http://energy.gov.il/Subjects/EnergyConservation/ECexpert/Pages/GxmsMniECEnergySavingBuilding.aspx>
- Good Practice, (unknown publication date). Energy. Climate Natural Development: A Good Practice Guide. Woking Borough Council, UK. www.woking.gov.uk/planning/service/publications/energy.pdf ²³
- תאורה יעילה נוחה ואפקטיבית תוך חסכון בהוצאת החשמל. עלונים לעוסקים בתחום החשמל. חברת החשמל לישראל. עמ' 24. http://www.israel-electric.co.il/Static/WorkFolder/Professionals/alon_taura.pdf ²⁴
- טל, א., 2007. תרומתם של גגות ירוקים לצמצום ההתחממות הגלובלית. מרכז המידע והמחקר של הכנסת. ²⁵
- Living roofs and walls, technical report: supporting London plan policy, 2008, Greater London Authority: <http://static.london.gov.uk/mayor/strategies/sds/docs/living-roofs.pdf> ²⁶
- אבישי נווה. גגות קרים וגגות ירוקים. אגודת אדריכלי הפנים בישראל. ²⁷
- http://www.arc.org.il/www/mag_article.asp?id=184
- UNEP. 2007. Buildings and Climate Change: Status, Challenges and Opportunities, United Nations Environment Programme. ²⁸
- Zero-Carbon Compendium: who's doing what in housing worldwide. 2010. NHBC Foundation. p.14 ²⁹
- http://www.zerocarbonhub.org/resourcefiles/Zero%20Carbon%20Compendium%202010%20Web_June.pdf ³⁰
- להסבר על מערכות קו-גנרציה ראו: גרוסמן ג., אילון, א., 2006. מערכות משולבות ליצירת חום וחשמל (קוגנרציה), סיכום והמלצות דיון פורום האנרגיה מס' 2, מוסד שמואל נאמן. עמ' 6. ³¹
- מהי בנייה ירוקה? המועצה הישראלית לבנייה ירוקה. ³²
- http://www.ilgbc.org/download/files/bniya%20yeruka_a3_pages_1.pdf ³³
- אוסטרובסקי, ג., קוצר, ר., 2009. הפרדת פסולת אורגנית במקור: מדרך לרשות המקומית. אדם טבע ודין. ³⁴
- אתר המשרד להגנת הסביבה. היטל הטמנה. עודכן בתאריך 2.1.2012. ³⁵
- Hassell, C., 2010. In: <http://www.greenspec.co.uk/water-part-g.php> ³⁶
- <http://www.olympicgames2012london.org/london2012olympicsgoinggreen.html> ³⁷
- VanGeem, M., 2006. Achieving Sustainability with Precast Concrete. PCI Journal, pp.42-61 ³⁸
- Brown et al., 2005, toward a climate-friendly built environment, Pew center for global climate change. ³⁹
- Harmaajärvi et al., 2002. Urban form and greenhouse gas emissions: summary, Ministry of Environment, Finland. ⁴⁰
- Brown et al., 2005, toward a climate-friendly built environment, Pew center for global climate change. ⁴¹
- Mitchell, G., 2005. Urban development, form and energy use in buildings: a review for the SOLUTIONS project. EPSRC ⁴²

- ⁴⁰ על היתרונות והחסרונות של היבטים שונים בתכנון עירוני ניתן לקרוא בהרחבה בפרלמטר ושות', המדריך לבנייה ביו-אקלימית. (ראה הערה 18)
- ⁴¹ תוכנית אב אסטרטגית לתכנון בר-קיימא: העיר ניו-יורק 2030. המשרד להגנת הסביבה, מכון השל והמרכז לקיימות מקומית. ניתוחי מקרה, זמין באתר של המרכז לקיימות מקומית: <http://www.kayamut.org.il>
- ⁴² מידע ומצגות עדכניים בנושא של שינויים התנהגותיים ומבנים ניתן למצוא בסימפוזיון בנושא: Climate, Buildings and Behavior Symposium (May, 2011) Presentations, at: http://www.garrisoninstitute.org/index.php?option=com_content&view=article&id=796&Itemid=1412
- ⁴³ מדיניות הממשלה בתחום הפקת אנרגיה ממקורות מתחדשים, החלטה מס. 3484 של הממשלה מיום 17.07.2011, צעדים להתייעלות אנרגטית - צמצום בצריכת החשמל, החלטת ממשלה מיום 18.9.2008, הסדרת משק הגז הטבעי, החלטת ממשלה מיום 12.5.2009 וכד'
- ⁴⁴ אילון, א., וחוב' (עורכים). 2011. סדר עדיפויות לאומי בתחום איכות הסביבה: הטיפול בסוגיית גזי החממה בישראל. מוסד שמואל נאמן.
- ⁴⁵ קפלן, מ. ואלמליח, ר., 2001. פריסת שטחים בנויים בישראל, אגף תכנון פיתוח, מנהל מקרקעי ישראל.
- ⁴⁶ אסף-שפירא, י., 2009. העיר במספרים: על בניינים ואנשים. מכון ירושלים לחקר ישראל.
- ⁴⁷ Bar-Ilan, Y., et al., 2010. Building Green: Promoting Energy Efficiency in Israel, Center for Urban and Regional Studies, Technion.
- ⁴⁸ למ"ס, לוח 1.2 שנתון סטטיסטי 2002 ומנהל מקרקעי ישראל, דו"ח שטחים בנויים, 2001.
- ⁴⁹ למשל: דו"ח מקינזי, 2009. פוטנציאל הפחתת גזי חממה בישראל, המסמך המלא, המשרד להגנת הסביבה.
- ⁵⁰ אדם טבע ודין, אוקטובר 2008, מאפקט החממה לצמיחה חכמה.
- ⁵¹ מוסד שמואל נאמן, מרץ 2000, חלופות להפחתת פליטות גזי חממה בישראל. פרק אנרגיה במבנים נכתב ע"י פרופ' עדנה שביב ופרופ' רחל בקר.
- ⁵² משרד התשתיות הלאומיות, 2010. התוכנית הלאומית להתייעלות אנרגטית: צמצום בצריכת החשמל 2010-2020. עמ' 70.
- ⁵³ ת"י 5281 ל"בניינים שפגיעתם בסביבה פחותה". מכון התקנים
- ⁵⁴ בניה ירוקה וניהול אנרגיה, מצגת של מכון התקנים הישראלי. הוצג בכנס האיכות השני בגליל, אורט בראודה, 2009.
- ⁵⁵ <http://okneset.org/bill/4387/>
- ⁵⁶ הצעת חוק התייעלות אנרגיה במבני ציבור, התשס"ט-2009
- ⁵⁷ סיטי לינק. 2008. מסמך מדיניות להקמה ותחזוקה של גינות על גגות וחזיתות. הוכן עבור עיריית ירושלים. חלק א': בסיס מידע. http://www.sviva.gov.il/Environment/Static/Binaries/ModulKvatzim/green_roof_jer_08_1.pdf
- ⁵⁸ גרוסמן ג., אילון, א., 2006. מערכות משולבות ליצירת חום וחשמל (קוגנרציה), סיכום והמלצות דיון פורום האנרגיה מס' 2, מוסד שמואל נאמן.
- ⁵⁹ שם. עמ' 15
- ⁶⁰ ורדימון, ר., 2010. הערכת הפוטנציאל לייצור חשמל פוטו-וולטאי מבוסס על גגות בתים בישראל. מכון דש"א.
- ⁶¹ על פי דו"ח מקינזי, 2009. פוטנציאל הפחתת גזי חממה בישראל, המסמך המלא, המשרד להגנת הסביבה.
- ⁶² משרד התשתיות הלאומיות, 2010, מדיניות המשרד לשילוב אנרגיות מתחדשות במערך הייצור המקומי. <http://www.mni.gov.il/NR/rdonlyres/D2E4FE39-80D6-4E05-AC44-E9C0BCDE5FEB/0/renewables.pdf>
- ⁶³ אברהם טנא, נייר עמדה, רשות המים, 2009.
- ⁶⁴ על פי הצעת חוק שהוגשה בנושא ועברה את אישור וועדת השרים ביוני 2011: <http://www.knesset.gov.il/privatelaw/data/18/1472.rtf>
- ⁶⁵ קיימת מחלוקת לגבי פוטנציאל החיסכון של מים אפורים מבחינת מים ואנרגיה כאחד. ראו למשל מאמרה של אנג' מאירה בת-אל ב- <http://www.tashtiot.co.il/2010/12/08/%D7%9E%D7%99%D7%9D/%D7%90%D7%A4%D7%95%D7%A8%D7%99%D7%9D/>. עם זאת באמצעות התמקדות במספר שימושים חוזרים שאינם מצריכים השקעה בתשתית חדשה, כגון שימוש במי מזגנים או מי אמבט/מכונת כביסה להדחת אסלות, ניתן לחסוך עלויות רבות.
- ⁶⁶ באום ה., כץ א., 2004. אפיון כמויות ומרכיבי פסולת באתרי בנייה. הוזמן ע"י המשרד להגנת הסביבה. מחקר מספר 401-1, הטכניון.
- ⁶⁷ טל, א. 2009. פרק ז' (איכות הסביבה) להצעת חוק ההתייעלות הכלכלית (תיקוני חקיקה ליישום התוכנית: הכלכלית לשנים 2009 ו-2010), התשס"ט-2009. מיחזור פסולת בניין במחצבות. מרכז המחקר והמידע של הכנסת
- ⁶⁸ המשרד להגנת הסביבה. הטמעת השימוש בחומרי בנייה ממחוזרים בפריקטי תשתיות http://arabic.sviva.gov.il/kenes_november.pdf

- The Ministry of Environmental Protection, 2011, Israel's second national communication on climate change. Submitted under the UNFCCC, Jerusalem
- פריש, ר., צור, ש., 2008. השקעה בתשתית תחבורתית, יוממות ושכר. סדרת מאמרים לדיון, מחלקת המחקר של בנק ישראל.
- אדם טבע ודין. 2009. חושבים רחוק, בונים ירוק.
- משרד הבינוי והשיכון, ספטמבר 2011. התפתחות ענף הבניה ופעילות משרד הבינוי והשיכון. האגף למידע וניתוח כלכלי.
- אתר משרד התשתיות (משרד האנרגיה והמים) < כרייה וחציבה בישראל. עודכן בינואר 2012
- משרד התשתיות הלאומיות, 2010. התוכנית הלאומית להתייעלות אנרגטית: צמצום בצריכת החשמל 2010-2020. לאור ההנחה כי כל 1 קוט"ש פולט 0.75 ק"ג פחמן.
- סיכום והמלצות דיון פורום האנרגיה מס' 21: שיפוץ אנרגטי של בניינים. 2011. מוסד שמואל נאמן, הטכניון.
- Griffith, B., Torcellini, P. and Long, N., 2006. Assessment of the Technical Potential for Achieving Zero-Energy Commercial Buildings. NREL/CP-550-39830.
- ההגדרה למבנים ברמת אפס פחמן כוללת מספר סוגים של מבנים: U.S. Department of Energy – Energy efficiency and renewable energy.
- http://www1.eere.energy.gov/buildings/commercial_initiative/printable_versions/zero_energy_definitons.html
- Zero-energy buildings, Building technologies program, U.S. Department of Energy
- <http://zeb.buildinggreen.com/overview.cfm?projectid=284>
- CSIRO, Zero-emission house <http://www.csiro.au>
- www.vauban.de/info/abstract.html
- מצגת מתוך האתר הרשמי של פרויקט השדרוג של ה-Empire State Building
- <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/hlm/sessions/docs2009/presentations/11.CNC.Rode.pdf>
- Clearinghouse Facilitation: Paving the Way for Better Energy Building Performance in EU Less Developed Regions. Evaluation of the PSF action. 2009.
- <http://www.clearsupport.eu/Documents/ClearSupport%20Evaluation%20Report.pdf>
- אתר ובו קישורים לתוכניות אב עירוניות ברחבי העולם: <http://www.gcp-urcm.org/Resources/CityActionPlans>
- <http://www.nyc.gov/html/planyc2030/html/about/ggbbp.shtml>
- במסמך שהוכן בשיתוף של מרכז השל, המרכז לקיימות מקומית והמשרד להגנת הסביבה נבחנו פרקי הקרקע, המים, האוויר, האנרגיה והתחבורה שבתוכנית:
- http://www.kayamut.org.il/sites/default/files/NYC_2030.pdf%5B1%5D.pdf
- <http://www.sydney2030.com.au/>
- <http://www.nieuwamsterdamsklimaat.nl/publish/pages/171006/report.pdf>
- World Green Building Council. 2011. Government Leadership Award: Excellence in city policy for green building
- Code for Sustainable Homes: A step-change in sustainable home building practice. 2006. Department of Community and Local Government, UK.
- http://www.planningportal.gov.uk/uploads/code_for_sust_homes.pdf
- Low energy buildings in Europe: Current state of play, definitions and best practices, Brussels, 25 September 2009
- לב-ציון נדן, נ., גלפי, ג., 2010. תמריצים וכלי מדיניות להטמעת בניה ירוקה בישראל. המועצה הישראלית לבניה ירוקה.
- Greater London Authority website: <http://www.london.gov.uk/priorities/environment/climate-change/energy-efficiency/homes-energy-efficiency-for-tomorrow>
- http://www.kfw.de/kfw/en/Domestic_Promotion/Our_offers/Housing.jsp