



## בידוד בנייני מגורים בישראל: חסמים, הזדמנויות והמלצות ליישום

## אודות המחקר:

בידוד מעטפת הבניין הינו אחד המרכיבים החשובים בבנייה ירוקה ובהתייעלות אנרגטית בבניינים. השפעתו על הפוטנציאל לחיסכון באנרגיה למשקי הבית בפרט ולמשק הלאומי ככלל הינה משמעותית והוא מוגדר כאחד ממנועי ההפחתה לצמצום פליטות בדוח מקינזי (2009). כמו כן מהווה נושא הבידוד מרכיב משמעותי בתקן לבנייה ירוקה המאפשר את צבירת הניקוד הגבוהה ביותר בין מאפייני התקן. מחקר זה מבקש לבחון את נושא בידוד בנייני מגורים בישראל. המחקר יתמקד בסקירה וניתוח של שיטות בנייה וטכנולוגיות, בבחינת רגולציה ותקינה וכן יבקש להציג את החסמים ולנסח המלצות להרחבת היישום וההטמעה.

## מטרות המחקר:

- 1) להציג את תחום הבידוד בישראל ובעולם
- 2) לזהות חסמים המצויים בשוק הבידוד הישראלי
- 3) לזהות הזדמנויות למקסום פוטנציאל ההתייעלות האנרגטית במבנים ע"י בידוד
- 4) להציע מהלכי מדיניות לקידום התייעלות אנרגטית ע"י בידוד

## אודות החוקרים:

רוני דניאל הוא אדריכל (B.Arch) בוגר הטכניון (2008), בעל תואר שני (M.Sc) בפיתוח בר קיימא ותכנון אסטרטגי מהמכון הטכנולוגי בלקינג בשבדיה (2010). עובד עם המועצה הישראלית לבנייה ירוקה החל מ-2012 בין היתר על כתיבת תקני בנייה ירוקה (לתעשייה ומתחמי תעשייה), מחקר ופיתוח והטמעת בנייה ירוקה וקיימות באקדמיה. משמש כמנהל תחום החדשנות ב-The Natural Step Israel, במסגרת זו מייעץ לעסקים, רשויות ומשרדי ממשלה בפיתוח מוצרים, שירותים ותהליכים בעל הצעת ערך מקיימת.

יאיר שוורץ הוא אדריכל (B.Arch) בוגר הטכניון (2008), בעל התארים M.Sc EDE – Environmental Design and Engineering (UCL, Bartlett, 2012) ו-M.Res AAC – Adaptive Architecture and Computation (UCL, Bartlett, 2014). החל משנת 2013 משמש יאיר כדוקטורנט ב-UCL. עבודת המחקר שלו עוסקת בחקר דפוסי צריכת האנרגיה במבנים, ובטביעת-הרגל האקולוגית של מבנים לכל מחזור חייהם. לפני שהחל את הדוקטורט עבד מספר שנים בפרקטיקות שונות בישראל ובאנגליה, בהן התמחה, בין השאר, בתכנון בר-קיימא, ובתכנון מבני PassivHaus.

## תוכן העניינים

5	תודות	
6	תקציר מנהלים	
21	הקדמה	1
21	אתגר האנרגיה העולמי	1.1
21	נקודת התורפה האנרגטית של ישראל	1.2
26	סקירה וניתוח פתרונות לבידוד בנייני מגורים	2
26	תפקידו של הבידוד בבניין	2.1
26	א כללי	
28	ב מושגים בסיסיים בבידוד	
30	ג חומרים שונים ומוליכות תרמית ( $\lambda$ ) – כפי שמפורט בת"י 1045	
33	ד בידוד פנימי ובידוד חיצוני	
35	2.2 שיטות הבידוד והטכנולוגיות הנמצאות בשימוש בישראל	
40	2.3 שיטות בידוד מתקדמות מרחבי העולם	
42	3 בידוד בנייני מגורים בישראל ובעולם; סקירת ספרות	3
42	3.1 פוטנציאל החיסכון בבידוד בנייני מגורים	
43	3.2 רגולציה ותקינה	
43	א סקירת רגולציה ותקינה בישראל	
45	ב סקירת רגולציה ותקינה בעולם	
48	3.3 היקף היישום בפועל בעולם	
51	3.4 תכניות להרחבת הטמעת בידוד בעולם	
54	3.5 בחינת החיסכון הפוטנציאלי על ידי בידוד מבני מגורים בישראל	
64	3.6 המלצות לאור סקירת מקרי המבחן בעולם וניתוח החיסכון במשק הישראלי	
65	4 ניתוח חסמים ליישום בשוק המקומי	4
65	4.1 תקינה והיבטים רגולטיביים	
65	א ת"י 1045	
66	ב ת"י 5281	
67	ג ת"י 5282	
68	ד אכיפת תקנות ורגולציה	
69	4.2 חסמים תלויי מידע וידע מקצועי	
69	א מודעות בקרב ציבור הצרכנים	
70	ב התנהגות הצרכן בדירה מבודדת	
71	ג מודעות וידע מקצועי בקרב אנשי המקצוע	
72	ד היעדר ידע ברשויות	
73	ה היעדר הכשרות לבעלי מקצוע	

74	היצע המוצרים והשיטות	4.3
74	א איכות מוצרי הבידוד	
75	ב מחזור החיים של מוצרי הבידוד	
75	ג שמרנות בהטמעת מוצרים חדשים	
76	4.4 חסמים תלויי שוק הבנייה ועלויות	
76	א איכות הבנייה בישראל	
76	ב עלויות וכשל שוק כלכלי	
80	<b>הצעות להסרת החסמים, פתרונות והזדמנויות</b>	<b>5</b>
80	5.1 עקרונות לשוק בידוד בר קיימא	
80	5.2 טיפול בפערי ידע מקצועי, בקרה ויישום בפועל	
80	א מנגנון לבדיקת והשלמת ידע מקצועי ברשויות המקומיות	
81	ב הקמת מרכז ידע להכשרות מקצועות הבנייה הירוקה	
81	ג הקמת גוף בדיקה לאיכות הבנייה	
81	5.3 בניית מנועי צמיחה למשק	
83	א מנגנונים כלכליים למימון הטמעת בידוד במבני מגורים	
85	ב יוזמות מקבילות שניתן למנף לבניית מנועי צמיחה במשק	
87	5.4 העצמת צרכן הקצה	
87	א מתן כלים ופרסום לצרכן הקצה	
88	ב תעודת דירוג אנרגטי לדירות	
89	5.5 תקנים וחקיקה	
89	א סנכרון תקנים	
90	ב בניית תקן לבדיקת איכות מוצרי הבידוד	
90	ג הנגשת תקנים	
90	5.6 ראיית על לתחום הבידוד	
90	5.7 הצעות למחקר עתידי	
92	נספחים	<b>6</b>
92	6.1 חישוביים תרמיים	

מחקר זה לא היה מתאפשר ללא נכונותם של אנשי מקצוע מתחומי התכנון, הייצור והבנייה, לתרום מזמנם היקר ומהידע שברשותם. אנשי מקצוע אלו העלו חסמים וכן העלו רעיונות הזדמנויות. אנו מודים להם על עזרתם.

**תרמו למחקר זה (לפי סדר ה-א-ב):**

אורלי אינדיצקי, יהונתן אלעזר, דידי אשנר, הילה בייניש, יעל בר אילן, עופר ברקת, אבי גורדון, אדם גולעד, רוזה גולדין, גלית גרשגורן, יפתח הררי, ששון הר סיני, תמי הירש, אסף ורדי, מיכל זוהר, תמיר חסון, אבנר לבציון, אריק מגל, תמרה סציצ'וב, ליאור עיני, אתי מרקוביץ-עשני, גיל פלד, דויד פרלמוטר, ברק פלמן, מתיתיהו קונס, רן קליק, מיכל רוזל, סיגל רוזנפלד, לילך רז, קרן שוץ, יפתח שטרן ועוד רבים וטובים אחרים.

אנו מודים לאדם גולעד שיזם את המחקר וכן לאלי כהן ואבנר לבציון בשל תרומתם הייחודית. כמו כן תודות לחברות שמימנו את המחקר והיו שותפות לחשיבה (לפי סדר ה-א-ב):

איטונג, גולמט, כרמית מיסטר פיקס, פולינום ותרמוקיר.

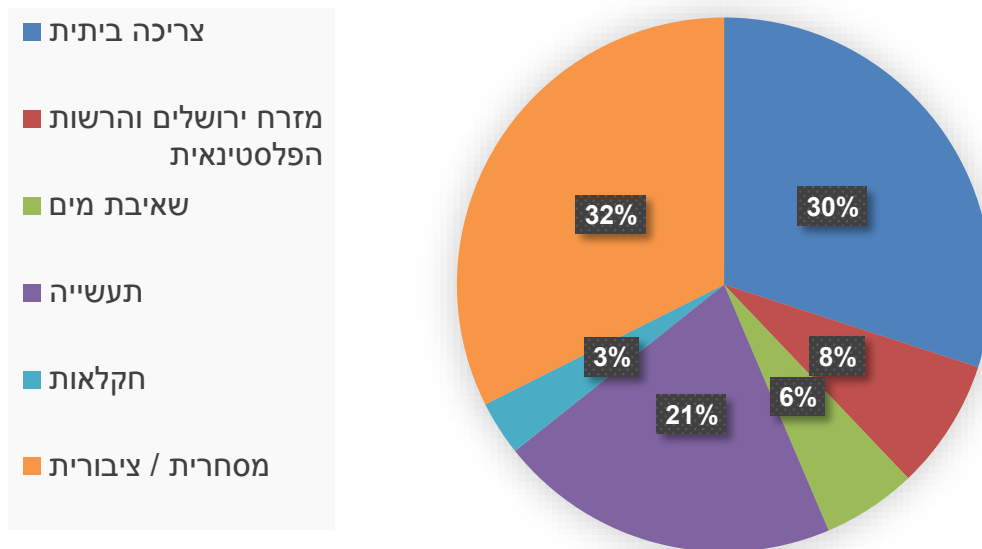
נכונות לתרום למען פיתוח כלל שוק הבידוד מהווה מודל לשיתופי פעולה למען תחום הבנייה הירוקה ורווחת כלל הציבור.

1) רקע:

נקודת התורפה של משק האנרגיה בישראל.

משק האנרגיה הישראלי עומד כיום בפני אתגרים מורכבים שישפיע על עצמאותו וחוסנו לאורך השנים הבאות. במהלך 30 השנים האחרונות אוכלוסיית ישראל גדלה פי 2: מ-4.1 מיליון תושבים ב-1984 ל-8.2 מיליון תושבים כיום. יחד עם זאת צריכת החשמל של המשק הישראלי גדלה פי 5 מאז שנות ה-80. מ-10 מיליארד קוט"ש בשנה ל-50 מיליארד קוט"ש בשנה. עם העלייה באיכות החיים עלתה בהתמדה צריכת האנרגיה של האזרח הישראלי הממוצע, וכיום 30% מסך הצריכה של המשק הישראלי מקורה בצריכה הביתית.

התפלגות צריכת החשמל לפי סוגי צרכנות



מקור הנתונים: דין וחשבון סטטיסטי, 2011 חברת החשמל לישראל

החלק המרכזי בצריכת האנרגיה במשק הבית הישראלי נובע מהצורך לאקלם את הדירה לטמפרטורה נוחה. הצרכן הישראלי הממוצע משתמש ב-7,363 קוט"ש בשנה סה"כ, בעוד חלקם של המזגנים בצריכה זו הוא 2,569 קוט"ש בשנה, המרכיב הגדול ביותר בין כלל סוגי הצריכה של משק הבית.

הערכת מרכיבי השימוש בחשמל במשקי הבית.

מוצר חשמלי ביתי	צריכת קוט"ש בשנה של המוצר	אחוז הצריכה של המוצר מסך חשבון החשמל השנתי
מקררים	1,299	18%
מזגנים	2,569	35%
מכונות כביסה	647	9%

מייבשים	197	3%
תנורים	116	2%
טלויזיות	629	9%
מדיחי כלים	83	1%
תאורה	566	8%
חימום מים	848	12%
מצב המתנה של מכשירים שלא נעשה בהם שימוש	409	6%
אחר	252	3%
<b>סה"כ</b>	<b>7,363 קוט"ש בשנה</b>	<b>100%</b>

מקור הנתונים: תחשיב שבוצע במסגרת הפורום הישראלי לאנרגיה עבור מחקר אפס פליטות פחמן בישראל, חזון למשק האנרגיה בשנת 2040, הסבת משק החשמל של ישראל לנטול פליטות גזי חממה, אוקטובר 2012.<sup>1</sup>

בנוסף, נצפתה עלייה משמעותית בגודל הדירות בישראל. ב-1980 היה השטח הממוצע לדירה חדשה בישראל 115 מ"ר ברוטו (כולל שטחים משותפים), בשנת 2000 היה השטח 155 מ"ר ברוטו וכיום כ-190 מ"ר ברוטו. דירות גדולות יותר דורשות אנרגיה רבה יותר לצרכי אקלום. ככל ששטח הדירה עולה, כך יש צורך ביותר אנרגיה על מנת ליצור נוחות תרמית לדיירים.

העלייה בהוצאות על איקלום מגורים בישראל נובעת, אם כן, מעליית שטח יחידות הדיור, אך אין זו הסיבה היחידה. לזאת נוספה עלייה במחירי האנרגיה: עלות קוט"ש לצרכן הפרטי עלתה (בממוצע) בעשרות אחוזים בעשור וחצי האחרון (34.44 אגורות לקוט"ש בשנת 2000 לעומת כ-65 אגורות לקוט"ש כיום בשנת 2014). הירידה הצפויה בעלויות החשמל לשנת 2015 לא מבטלת את העלייה המצטברת לאורך העשור שקדם לה).

לגידול בצריכת האנרגיה משמעותיות כבדות משקל. עלויות הקמת תחנות כוח נוספות על מנת לעמוד בדרישות האנרגיה של המשק מוכיחות כי אי היציבות בשוק החשמל (הנובעת בין היתר מחוסר התקדמות ברפורמות בחברת המחשמל, תגליות הגז, ההסתמכות במדינות זרות לאספקת אנרגיה, תקנות סביבתיות וכו'), הופך את הקמתן ללא כלכלי. דוגמא לכך היא תחנת הכוח באשקלון, תחנת D, אשר עלות הקמתה זינקה מ-1.4 מיליארד שקל ב-2008 לכ-8 מיליארד שקל ב-2014, סכומים אשר תרמו להקפאת הפרויקט ב-23.11.2014.

בהקשר זה מתחדדת חשיבותה של הבנייה הירוקה ככלי להפחתת צריכת אנרגיה. שילוב מאפייני הבנייה הירוקה (הפנייה מיטבית, בידוד מעטפת הבניין, ציפוי החלונות, שימוש בהצללות, שילוב אסטרטגיות אוורור, צבע המבנה ועוד) יכול להביא להפחתה של למעלה מ-40% בצריכת החשמל בבתי מגורים. נמצא גם כי שיפוץ מבנים קיימים עשוי להפחית בין 17% ל-27% מצריכת החשמל במבנים אלו. החסכון נובע בין היתר מהפחתת התלות בצריכת החשמל לקירור או לחימום מבנים.

<sup>1</sup> חישוב חלקו של המזגן בסך הצריכה השנתית בוצע ע"י ניתוח כלכלי של דר' שחר דולב אשר התייחס הן למזגנים חדשים ויעילים והן מזגנים ישנים ובזבזניים. מקור רלוונטי נוסף הינה התוכנית הלאומית להתייעלות אנרגטית (יולי, 2010) של משרד התשתיות הלאומיות המציינת כי צריכת האנרגיה השנתית לאקלום של משק בית הינה כ-40%. יש להדגיש כי לטענת התאחדות הקבלנים הנתונים נמוכים יותר.

לאור נתונים אלו, ניתן להבין את חשיבות הטיפול במעטפת מבני המגורים בישראל. מחקר זה מתמקד נקודתית בחסמים ובהזדמנויות בתחום בידוד המבנים, כאחד מן המרכיבים המרכזיים של הבנייה הירוקה, אשר בכוחו לסייע בהפחתת צריכת האנרגיה של הדייר בישראל ושל המשק בכללותו.

## 2) בידוד מבני מגורים בעולם:

### א. חקיקה בעולם

מחקר זה סוקר את החקיקה והתקינה הישראלית הרלוונטית לתחום הבידוד ובוחן חקיקה ותקינה מקבילה בעולם. בסקירה הבינלאומית נבחנו מקרי מבחן ממדינות מפותחות ומתפתחות בעלות אקלים דומה ושונה מזה הקיים בישראל, אשר הכירו בחשיבות הבידוד כאמצעי להפחתת התלות בצריכת אנרגיה מוגברת. מטרה זו הינה בעלת חשיבות עליונה גם למשק הישראלי המוגבל גיאוגראפית. בדוגמאות מתוך הסקירה הבינלאומית ניתן למצוא מדינות כגון ניו זילנד – אשר יזמה תקינה שמטרתה להביא לכך שכל בתי המגורים במדינה יהיו בעלי זיגוג כפול ובעלי בידוד איכותי של מעטפת הבניין, או בלגיה – שבה חוק התכנון והבנייה עבר מהפכה הכוללת, בין היתר, את התנייתו של מתן היתר לבנייה בחישובו ובהצגתו של ה-E-Value – ערך המכמת את צריכת האנרגיה הכוללת במגורים, וכן את שילובו מנגנון אכיפה לשם יישומו של החוק. תהליכי חקיקה נוספים נסקרו גם בתורכיה אשר הטמיעה בשוק המקומי את "תעודת הזהות האנרגטית" (Energy Identity Certificate – Energy ID), המחייבת כל מבנה הגדול מ-1000 מ"ר, חדש או ישן, לעמוד בתקנים מחמירים של בידוד. נוסף על כך, לאחרונה אושרה חקיקה המחייבת את כל המבנים במדינה להתקין בידוד ולהחזיק בתעודת זהות אנרגטית עד שנת 2017.

### ב. יישום בעולם

לאחר קיפאון של שנתיים, ב-2008 ו-2009, היקף עסקאות הבידוד בעולם גדל בכ-5% ב-2010. מחקר שנערך בבריטניה ע"י קבוצת IAL Consultants סוקר את שוק מוצרי הבידוד ב-27 מדינות באירופה. הסקירה מראה כי ב-2012 היקף העסקאות בשוק האירופאי עמד על כ-9.6 מיליארד יורו, והצפי הוא כי עד 2017 היקפן יעלה לכדי 10.57 מיליארד. מספרים אלו אינם אקראיים: שווקים רבים בעולם ביצעו תהליך חשיבה לאחר המשבר הכלכלי של 2008 והסיקו כי פיתוח שוק הבידוד יוכל להניע את הכלכלות המקומיות כמנוע צמיחה של תעסוקה ותשתיות וזאת בנוסף להתייעלות האנרגטית ולחסכון הצפוי בצריכת האנרגיה. דוגמא מובהקת לכך ניתן לראות בתורכיה, מדינה בה, בדומה למשק הישראלי, האקלים הוא ים תיכוני ומרבית המבנים אינם מבודדים. להיעדר הבידוד נמצאו השלכות כספיות על המשק וההערכה היא כי איבודי אנרגיה שנתיים עקב שימוש באנרגיה במבנים לא מבודדים עולים כ-10 מיליארד דולר לכלכלה התורכית. בנוסף לכך, ההשקעה בבידוד נתפסת כהקטנת התלות במדינות חיצוניות, עוינות לעיתים, המספקות אנרגיה למשק המקומי. כיום בידוד הוא אחד השווקים בעלי קצב הגידול הגבוה ביותר בתורכיה, עם גידול שנתי של כ-25-30% נכון ל-2011. מחזור העסקאות צמח מכ-300 מיליון יורו ב-2004 לכ-4 מיליארד יורו ב-2012. כמו כן, ישנן כיום כ-200 חברות המעורבות בשוק הבידוד בתורכיה (להבדיל ממס' חברות בודדות בתחילת שנות ה-2000), והן מעסיקות כ-80,000 עובדים. המגבלות העיקריות של שוק הבידוד התורכי הן ייצור של מוצרי בידוד לא איכותיים, כוח עבודה לא מיומן, ריכוזיות יתר והיעדר בדיקה ובקרה.



בכדי לייעל את הביצועים האנרגטיים של מבני מגורים, וכדי לעורר את שוק הבידוד וליצור מקומות עבודה חדשים, פורסמו במספר מדינות תכניות המעודדות את הציבור לשפר באופן פעיל את מעטפת מבני המגורים. המחקר בוחן תכניות בידוד בינלאומיות, ביניהן ה-"Green Deal" של אנגליה, שמטרתה לעודד שיפוץ מבנים וייעול אנרגטי באמצעות תמריצים כלכליים, וה- Energy Efficient Homes Package של אוסטרליה, אשר מטרתה להביא לחיסכון בצריכת האנרגיה במבנים למגורים. המחקר בוחן את המודלים הכלכליים של תכניות אלו, את ההצלחות והכישלונות, ומנסה להסיק מיוזמות אלו את האפשרות להטמיע תכנית דומה במשק הישראלי (זאת תוך נקיטת מנגנוני זהירות בהשוואת המצב המקומי עם ארצות קרות בהן השפעת הבידוד על צריכת האנרגיה לחימום משמעותית מאוד).

### 3) בחינת החיסכון הפוטנציאלי על ידי בידוד מבני מגורים בישראל:

בכדי לבחון את פוטנציאל החיסכון באנרגיה כתוצאה מבידוד של מבני מגורים בישראל, נערכה בדיקה האומדת את ההשפעה של השימוש בבידוד על רמת ביצועיהם האנרגטיים של מגוון טיפוסים מגורים נפוצים בישראל.

לצורך הבדיקה, נבחנה השפעת הבידוד על 2 טיפוסים בנייה קיימים למגורים:

- א. בנייה רוויה (בניה חדשה)- בבנייה זו נבחנו 2 תרחישים: מבנים חדשים הנבנים באמצעות שיטת ברנוביץ' ומבנים הנבנים על ידי בנייה בבלוקים –שתיים משיטות הבנייה הנפוצות בישראל).
- ב. בנייה קיימת- בבנייה זו נבחנו 2 טיפולוגיות: דירות בבניין "רכבת" האופייניים למגורים משנות ה-50 וה-60, וכן דירות בבניינים בעלי תכנית "H" האופיינית למגורים משנות ה-70 וה-80. סה"כ נבחנו 4 סוגי בינוי המייצגים אחוז משמעותי מהבינוי למגורים בישראל.

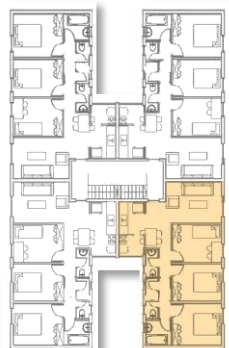
#### מתודולוגיית המחקר:

לכל סוג בינוי נערכה השוואה בין 'מבנה ייחוס' (המבנה המקורי בו מודלה יחידת הדיור עם קירות המעטפת המקוריים – ללא בידוד) לבין 'מבנה משופר' (מבנה בו שולב בידוד על גבי המעטפת). הערכים עליהם נסמך המחקר עבור ה'מבנה משופר' תואמים את דרישות החקיקה בישראל לפי ת"י 1045. כל סוגי הבינוי נבחנו בארבעת אזורי האקלים המקובלים בישראל.

#### סוגי הבינוי שנבחנו במחקר:



יחידת דיור בבניין "רכבת"  
אופייני משנות ה-50 וה-60  
(בנייה קיימת). שטח היחידה –  
50 מ"ר נטו.



יחידת דיור בבניין "H" אופייני  
משנות ה-70 וה-80 (בנייה  
קיימת). שטח היחידה – 100  
מ"ר נטו.



יחידת דיור בבנייה רוויה (בנייה  
חדשה). שטח היחידה – 150  
מ"ר נטו.

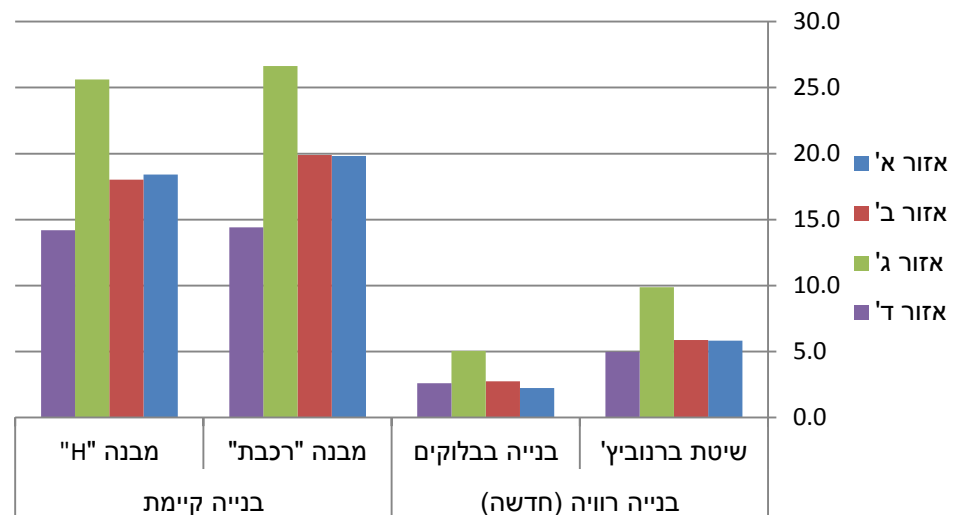
חיוני לציין כי המחקר התבסס על ההנחות כי סך כל יחידות הדיור בישראל הוא כ-2,349,000, ומתוכן כ-53% נבנו לפני שנת 1988<sup>2</sup>, בה נקבעה הדרישה לבידוד בחוק. כפועל יוצא, המחקר מניח כי היחידות שנבנו לפני שנה זו אינן מבודדות כלל. 47% הדירות הנוספות אמורות להיות מבודדות ברמות שונות, בהתאם לדרישות החוק לאותה העת. אולם, לאור הפיקוח הדל, הן בשנות ה-90 והן כיום, לא ניתן להצהיר בוודאות כי דירות אלו אכן מבודדות בפועל וכראוי.

### תוצאות וניתוח בחינת החיסכון בישראל:

תוצאות המחקר מראות כי הוספת בידוד למעטפת יחידות הדיור שנבדקו אכן יכולה להביא לירידה בצריכת האנרגיה לאקלומ.

- השיפור הניכר ביותר נרשם במבנים קיימים בהם הובילה הוספת הבידוד לחסכון של בין 14.2% ל-26.6% מצריכת האנרגיה לאקלום.
- שיפור הבידוד בבנייה רוויה חדשה תרם לחיסכון של בין 2.2% ל-9.9% מצריכת האנרגיה לאקלום.
- בבנייה רוויה חדשה – תוספת הבידוד בשיטת ברנוביץ' תרמה לחיסכון משמעותי יותר מזה אשר בבנייה בבלוקים.
- תוספת הבידוד לבניין H ובניין רכבת תרמה לשיפור משמעותי (באחוזים) לשתי טיפולוגיות הבנייה שנבחנו, בשיעור של כ-19.5% בממוצע. אחוזי השיפור המשמעותיים ביותר נרשמו באזור האקלים ג'.

### אחוז השיפור בצריכת האנרגיה לאקלום, סיווג לפי מבנים



### מידת החיסכון באנרגיה למ"ר קיר מעטפת

- יחידות הדיור השונות נבדלות זו מזו לא רק בשטח הרצפה שלהן אלא גם בשטח הפנים שלהן. לדירה בשיכון רכבת, למשל יש בד"כ 2 קירות חוץ בלבד, בעוד שלדירה בבנייה רוויה יש 4 כוונות אוויר עם קירות חוץ רבים

<sup>2</sup>מקור המידע בהצלבת נתונים מתוך מחקרי מ"מ, משרד מבקר המדינה, הלמ"ס וכן סדרת ראיונות עם אנשי מקצוע כמפורט במחקר.

ושטח פנים גדול. שטח הפנים הוא המרכיב העיקרי המביא לאיבודי חום לקור, וככלל, דירה בעלת תכנית קומפקטית ומרוכזת תהיה יעילה יותר מבחינה אנרגטית (בהיבט הולכת חום באמצעות קירות).

- ההשקעה בבידוד מבנים קיימים בכלל ובמבני "H" בפרט תהיה רווחית עד כמעט פי 25 מהשקעה בבידוד למבנים בבנייה רוויה חדשה. עם זאת, יש לזכור שהוספת בידוד במבנים קיימים יקרה יותר מאשר שיפור טכנולוגיית הבנייה והבידוד במבנים חדשים, שכן בידוד מבנים קיימים כרוך בד"כ בשיפוץ כולל של יחידת הדיור וכן בעבודות נלוות, בעוד ששיפור בידוד יחידות דיור חדשות כרוך סה"כ בהוספת שכבת בידוד נוספת לשכבת הקיר בעת הרכבתו.

#### מידת החיסכון לכלל המשק בישראל

במסגרת מחקר זה נערך חישוב להערכת החיסכון האפשרי למשק הישראלי כתוצאה מבידוד מבני מגורים בישראל. מחישוב זה עולה כי:

- פוטנציאל החיסכון באנרגיה לאקלום הנובע מבידוד דירה ממוצעת (בשקלול ממוצע של בנייה חדשה וקיימת) בישראל עומד על כ-13% מסך האנרגיה לאקלום, שהם כ-4.5% מסך חשבון החשמל החודשי של משק בית ממוצע בישראל.
- החיסכון, כאמור, מוחשי יותר בדירות קיימות באופן כללי ובדירות שנבנו בשנות ה-70 וה-80 בפרט, שכן אלו הן דירות גדולות יחסית, לא מבודדות ובעלות שטח פנים גדול. פוטנציאל החיסכון בדירות קיימות עומד על כ-22% מסך האנרגיה לאקלום, שהם כ-7% מסך ההוצאות על חשמל למשק בית.

#### **הטבלה הבאה מציגה תסריטים שונים לחיסכון אפשרי כתוצאה מבידוד הקירות:**

החישוב מתייחס לשיפוץ הדירות עד שנת 2025, ולוקח בחשבון גידול שנתי של 2% בצריכת האנרגיה<sup>3</sup>.

הערות	פוטנציאל חיסכון <u>שנתי</u>	אזורי אקלים	סוג מבנה	כמות יחידות הדיור לבידוד
פוטנציאל החיסכון השנתי המקסימאלי, לו כל מבני המגורים בישראל יהיו מבודדים עד שנת 2025, עומד על למעלה מחצי מיליארד ש"ח לשנה.	כ- 585 מיליון ש"ח <sup>4</sup>	כל אזורי האקלים	כל סוגי המבנים, בנייה חדשה ובנייה קיימת.	כל יחידות הדיור בישראל (יעד תיאורטי)

<sup>3</sup>לפי מחיר קוט"ש לשעה בזמן כתיבת המחקר

<sup>4</sup>נתון זה מורכב מכ- 510 מיליון ש"ח חיסכון ישיר לציבור ועוד כ- 75 מיליון ש"ח עלויות חיצוניות כפי שהוגדרו ע"פ המשרד להגנת הסביבה. פירוט על תחום העלויות החיצוניות ניתן לקרוא בסעיף 5.3 במחקר זה.

פוטנציאל החיסכון השנתי לכל מבני המגורים שנבנו לפני 1988 עומד על כמעט חצי מיליארד ש"ח בשנה.	כ- 450 מיליון ש"ח	כל אזורי האקלים	מבני "H" ושיכוני רכבת.	כל יחידות הדיור הקיימות בישראל, שנבנו טרם שנות ה-90 (בעלות בידוד לקוי).
שיפוץ 10,000 מבני "H" (תסריט ריאלי) הוא המשתלם ביותר.	כ- 66 מיליון ש"ח	כל אזורי האקלים	מבני "H"	כ- 10,000 מבנים (כלומר 120,000 יח"ד, בכל בניין ישנן 12 יח"ד בממוצע)
תסריט זה מתאר תרחיש שאפתני יותר.	כ- 165 מיליון ש"ח	כל אזורי האקלים	מבני "H"	כ- 25,000 מבנים (כלומר 300,000 יח"ד)
שיפוץ 10,000 מבני רכבת (תסריט ריאלי) רוחי פחות משיפוץ מבני "H".	כ- 27 מיליון ש"ח	כל אזורי האקלים	שיכוני רכבת	כ- 10,000 מבנים (כלומר 120,000 יח"ד)
	כ- 65 מיליון ש"ח	כל אזורי האקלים	שיכוני רכבת	כ- 25,000 מבנים (כלומר 300,000 יח"ד)
שיפוץ מבני "H" באזור אקלים ב' ו-ג' הוא בעל פוטנציאל החיסכון הגדול ביותר.	כ- 61 מיליון ש"ח	אזור ב'	מבני "H"	7,500 מבנים (כ- 100,000 יח"ד)
	כ- 80 מיליון ש"ח	אזור ג'	מבני "H"	7,500 מבנים (כ- 100,000 יח"ד)

בהינתן כי עלות בידוד של מבנה קיים היא 150 ש"ח למ"ר<sup>5</sup>, הטבלה הבאה מציגה את פרק הזמן הדרוש להחזר מלא על הוצאות בידוד (Payback Time).

### זמן החזר להוצאות על התקנת בידוד באזורי האקלים השונים (בשנים)

אזור אקלים	מבנה "רכבת"	דירה מסוג "H" – שנות ה-70\80
אזור א'	20	29
אזור ב'	18	26
אזור ג'	16	20
אזור ד'	16	24

- מבין הדירות הקיימות, דירות במבני שיכון הן בעלות זמן החזר המהיר ביותר של השקעת שיפוץ המעטפת (בין 16-20 שנים), אולם דירות במבני "H" משנות ה-70 וה-80, על אף זמן החזר הארוך יותר (בין 20 ל-29 שנים) הן בעלות החיסכון האבסולוטי באנרגיה הגבוה ביותר (בידודם של כל מבני ה-"H" בישראל יביא לחיסכון שנתי בשווי של כ-320 מיליון ש"ח בשנה).
- הוספת בידוד למבנים חדשים (כפי שכבר דורש החוק בת"י 1045) תניב תשואה נמוכה יחסית בעתיד הקרוב, אך ככל שיבנו יותר מבנים – מידת החיסכון תעלה. כך, למשל, במידה וכל יחידות הדיור החדשות הנבנות החל מ-2014 יחויבו להתקין בידוד משופר (כפי שהודגם בסימולציות), בשנת 2025 פוטנציאל החיסכון השנתי יעמד על כ-70 מיליון ש"ח מסה"כ ההוצאות על אנרגיה במשק.

### המלצות לאור סקירת מקרי המבחן בעולם וניתוח החיסכון הפוטנציאלי למשק הישראלי:

לאור הסקירה הספרותית והבדיקות שנעשו בעבודה זו, אנו ממליצים להשקיע בפיתוח שוק הבידוד המקומי באמצעות תכנית Retrofit לאומית שתגדיר יעדים מדידים ותפעל להשגתם. על מנת שתכנית מסוג זה תצליח עליה להתחשב בנקודות הבאות:

א. עידוד שוק הבידוד בישראל יכול לתרום ליצירת מקומות עבודה רבים במגזרים שונים, החל ממגזר המתכננים (אדריכלים ומהנדסים), דרך המבצעים (פועלי הבניין ומפעלי הייצור) ועד למבצעי הבדיקה והבקרה). על אף האמור לעיל, ולאור סקירת מקרים דומים מרחבי העולם, לפני יישומם של שינויים בתקנות הבנייה המקומיות יש לדאוג להכשרה איכותית של כ"א מיומן לכל אחד מהמגזרים השונים. יישום תכניות בידוד ללא הכשרה מספקת של כ"א עלולה להביא למצב בו לשוק אין יכולת טכנית לעמוד בדרישות. (לדוגמא: יישום תכנית בידוד לאומית למבנים, בדומה לזו שנעשתה בשוק הבידוד התורכי ובהתאמה לגודל הכלכלה הישראלית, יכולה להוביל לכ-8,000 מקומות עבודה חדשים).

<sup>5</sup> על בסיס שקלול ממש' מקורות, המתייחס לסוגי בידוד שונים וזמן עבודה. במידה וקיים מהלך המסבסד תהליך כולל למס' מבנים העלות עשויה להשתנות. גודל המבנים משפיעים אף הם על העלות, לדוגמא לאור הצורך בפיגומים. עלות נוספת קיימת לסקר מבנים מקדים שיש לבצע, אם כי המשרד להגנת הסביבה והלשכה המרכזית לסטטיסטיקה מקדמים סקר עצמאי וכולל לאלפי מבנים, מה שיחסוך בעלויות אלו.

ב. על מנת לתמוך בתהליך יישום הבידוד יש צורך בהקצאת משאבים לפיקוח והן בליווי ותמרוץ גורמים בתעשייה. סקירת השווקים השונים בעולם מראה כי חקיקה ללא בדיקה ובקרה אינה אפקטיבית, וכן תמרוץ התעשייה ללא פיקוח עלול להביא לצמיחה פראית ולא מבוקרת של השוק, צמיחה העלולה להוביל למצב בו גורמים מסוימים יקלו ראש בתקנות בטיחות על מנת למקסם את רווחיהם. שינוי התנהגות השוק הוא בהחלט אפשרי אך הוא חייב להיות אטרקטיבי לכל הגורמים בו.

ג. על מנת למנוע רתיעה של הציבור מתוספת הבידוד במבנים, יש לייצר פלטפורמה נגישה, פשוטה וברורה, בה יוצע הסבר הנוגע לתפקיד הבידוד בבנייני מגורים וכן הסבר על התקנות החדשות.

#### 4) ניתוח חסמים ליישום בשוק המקומי:

המחקר בוחן חסמים מרכזיים ומהותיים אשר עלו במהלך שיחות, התכתבויות וראיונות עם 23 בעלי מקצוע העוסקים בבידוד או בתחומים בהם הבידוד מהווה מרכיב משמעותי. המרואיינים נבחרו ממגוון תחומים, ביניהם קבלנים, יזמים, מהנדסים, יעצים תרמיים, אדריכלים, יצרנים, עובדי משרדי ממשלה ומכוני תקינה, עובדי רשויות ועוד. החסמים נחלקו ל-4 קטגוריות: תקינה והיבטים רגולטיביים, מידע וידע מקצועי, היצע המוצרים והשיטות ושוק הבנייה ועלויות הבידוד.

##### א. חסמי תקינה והיבטים רגולטיביים

חסמים אלו מתייחסים לחוקים ולתקנים הנוגעים לבידוד: ת"י 1045, ת"י 5281, ת"י 5282, ת"י 5280, אכיפת תקנות וסתירות ברגולציה.

דוגמאות לחסמים בתחום תקינה והיבטים רגולטיביים:

- היעדר סנכרון וכפילויות בין התקנים השונים העוסקים בבידוד תרמי (ת"י 1045, ת"י 5281, ת"י 5282, ת"י 5280).
- סתירות בין חוקים ותקנות, בעוד תקני בידוד תרמי יוצרים ביקוש, תקנים מקבילים (כגון תקנות האש) מגבילות אותו. היעדר יד מכוונת ניכר.
- קושי בעמידה בדרישות ת"י 1045 בנושא גשרי קור (חסם זה הוא למעשה סימפטום של חוסר תיאום עם הפרקטיקה).
- בקרה חלקית ולקויה של תקנות הבידוד התרמי.
- הזנחת היבט ההתייעלות האנרגטית בבנייה צמודת קרקע (עקב אי התייחסות בת"י 5281).
- מגבלות מידול בתכנת ENERGY ui אליה יש הפנייה מת"י 5281 ות"י 5282 (יש לציין כי מגבלות אלו נכונות לזמן כתיבת המסמך וכי ישנם השקעה ומאמץ משמעותיים ומבורכים לתיקון ושיפור המערכת).

## ב. חסמים תלויי מידע וידע מקצועי

נטרול חסמי מידע וידע מקצועי הינם נקודות מפתח ליישום הבידוד בישראל. הקונצנזוס בקרב המרואיינים למחקר זה היה כי:

- 1) **תכנון:** קיים חוסר בידע מקצועי לתכנון לפי דרישות החוק והתקינה.
- 2) **ביצוע:** קיימים פערי ידע ויכולת ליישום בפועל של חתכי קיר מבודדים בשוק הבנייה.
- 3) **בקרה:** קיימים פערי ידע בקרב הרשויות אשר מונעים בקרה אפקטיבית לעמידה בדרישות. שלושת החסמים הנ"ל חוזרים ומופיעים לכל אורך שרשרת התכנון, הביצוע והבקרה של הבנייה בישראל. אל הקשיים הקיימים בהיבט המקצועי ניתן לצרף את חוסר המודעות המוחלט של הציבור בנוגע לתועלת הבידוד, לצד היעדר ידע בסיסי בנוגע לבידוד מבנים ועקב כך להיעדר ביקושים "מלמטה" - מהציבור.

דוגמאות נוספות לחסמים תלויי מידע וידע מקצועי:

- יחס הפוך בין עלות הדירה (המוצר היקר ביותר שהצרכן הממוצע רוכש) לבין הידע המועט לשימוש אופטימלי בדירה. הצרכן אינו יודע כיצד להשתמש בדירות מבודדות (בין אם רק מבודדות או מוסמכות לדירה ירוקה בת"י 5281).
- חוסר באנשי מקצוע וכוח אדם איכותיים המתמחים בבידוד וכן יעדר אינטגרציה של ידע מקצועי בתחום הבידוד בהכשרות לאנשי מקצוע בכל שלב בשרשרת הבינוי.

## ג. חסמים תלויי היצע המוצרים והשיטות

חסמים אלו מתייחסים לאיכות מוצרי הבידוד, מחזור החיים של מוצרי הבידוד וכן שמרנות בהטמעת מוצרים חדשים. שמרנות זו הינה חסם הן למוצרים הקיימים בשוק והן לייבוא מוצרים ושיטות חדשות.

דוגמאות לחסמים בתחום היצע המוצרים והשיטות:

- היעדר תקינה לפיקוח על איכות מוצרי הבידוד (וכתוצאה מכך, השוק חשוף למוצרים באיכות נמוכה שההתנגדות התרמית שלהם ועמידותם לא נבדקה ע"י גורם מוסמך).
- חשש בקרב קבלנים לשימוש במוצרים לא מוכחים, תחושה המתחזקת בהיעדר מנגנון המוודא את איכות ובטיחות מוצרי הבידוד (כתוצאה מכך מעדיפים להשקיע במערכות אקטיביות ולא בבידוד).
- חסמי כניסה לקבלת תו ירוק ליצרנים קטנים.
- מיעוט במחקרי LCA המשווים בין אלטרנטיבות בידוד שונות המתייחסות לאנרגיה הגלומה בתהליך הייצור ופוטנציאל פליטות הפחמן של המוצר וראייה כוללת של חומרי גלם, ייצור, שינוע, שימוש וסוף חיי מוצר. היעדר מחקרים אלו מקשה על הבהרת התועלות של מוצרי הבידוד. היעדר ידע זה משפיע גם על חוסר מודעות בנושא תחזוקת בידוד המבנים ובלאי החומרים הטבעי של מוצרי הבידוד (מתי ואיך האפקטיביות של מערכות הבידוד יורדות ומהם נקודות התורפה שלהן).
- שמרנות וחוסר נכונות בקרב קבלנים ויזמים להטמיע מוצרי בידוד חדשים (מסיבות כלכליות, מטעמי נוחות והסתגלות ל"מוכר וידוע" ומחוסר רצון לשנות הסכמים עם ספקים).

## ד. חסמים תלויי שוק הבנייה ועלויות

חסמים אלו מתייחסים לאיכות הבנייה בישראל וכשלי שוק הפוגמים בכדאיות הכלכלית של בנייה ירוקה ובידוד מבנים חדשים וקיימים.

דוגמאות חסמים תלויי עלויות ושוק הבנייה:

- חוסר אמון בין צרכני הקצה (הדיירים ורוכשי הדירות) לגורמים השונים בשוק הבנייה.
- מרבית העובדים בשוק הבנייה אינם עוברים הכשרה מסודרת ומאורגנת לעבודת הבנייה. הלימוד מתבצע תוך כדי תהליך הבנייה בפועל ובתוך כך שכפול טעויות מפועלים אחרים ויצירת טעויות חדשות. חילופי כוח האדם התדירים בענף הבנייה מונע בסופו של דבר את התמקצעות הפועלים.
- היעדר חשיבה אינטגרטיבית בבנייה. אנשי המקצוע עוסקים ברכיבים נקודתיים במבנה וכתוצאה מכך אין התייחסות לשילוב בין רכיבי הבנייה (ביניהם הבידוד) המתפקדים יחד להשגת נצילות אנרגטית של המבנה.
- להבדיל מבנייני משרדים ומבני ציבור, בהם לעיתים קרובות היזם נהנה ומרוויח מהחיסכון השוטף שבהטמעת מרכיבי בידוד, לא כך הדבר במבני מגורים, בהם היזם אינו נהנה משילוב מרכיבי חסכון אנרגטי במבנה.
- היעדר תמריצים לבניית מעטפת יעילה אנרגטית למבני מגורים או לביצוע retrofit של מבנים קיימים.
- היעדר יכולת כלכלית של הצרכן להשקיע בretrofit לאור זמן החזר ההשקעה הארוך.

## 5) הצעות להסרת החסמים, פתרונות, הזדמנויות:

### א. טיפול בפערי ידע מקצועי, בקרה ויישום בפועל

לצורך התמודדות מול היעדר ידע ויכולת בדיקה, מוצעים שלושת הצעדים הבאים:

#### 1. מנגנון לבדיקה ולהשלמת ידע מקצועי ברשויות המקומיות:

מנגנון זה יבצע את הפעולות הבאות: (1) יקיים בדיקת ידע ברשויות בדרגים השונים של בודקי התכניות. מטרת הבדיקה היא לאבחן את רמת הידע הקיים, (2) יקבע מהי ההכשרה הנדרשת לדרגים המקצועיים ברשות על מנת להגיע לרמת הידע הרצויה. תוצר הליך שכזה יאפשר לרשות לאמת דוחות תרמיים כתנאי לקבלת טופס אכלוס. זהו תנאי יסוד לשם יצירת בקרה אפקטיבית. במידה ובדיקת התכניות תעבור לידי מכוני בקרה, יש לוודא כי כוח האדם המקצועי של המכון בקי בדרישות תקנות הבידוד ובכוחו לבצע בדיקה ובקרה מלאים.

#### 2. הקמת מנגנון להכשרות מקצועות לתמיכה בשוק הבידוד:

במסגרת זו יוכשרו בעלי תפקידים להתמחויות בהם קיים מחסור בתחום הבידוד. תחום היועצים התרמיים הוא דוגמה מובהקת לחוסר שכזה, הן בהיבט של רמת הידע והן בכמות האוחזים בו. כך במקרה זה יוכשרו יועצים תרמיים או יסופקו הכשרות משלימות ליועצים הקיימים. דרך נוספת להתמודד מול האתגר הינה ע"י הטמעת הנושא בגופים כגון הקרן לעידוד ופיתוח ענף הבניה בישראל העוסקת בקליטת עובדים והכשרות מקצועיות בענף הבנייה.



### 3. הקמת גוף בדיקה לאיכות הבנייה (בפרט איכות הבידוד):

פרט ליצירת מנגנונים להכשרות, לבדיקה ולבקרה יש לוודא את איכות היישום. מוצע להקים גוף אשר יעסוק בבדיקות איכות הבנייה. גוף זה יכשיר מהנדסי איכות בנייה שיאתרו טעויות, ישמשו כמדריכים מקצועיים באתרי הבנייה ויוודאו עמידה בחוקים ובתקנות (כגון ת"י 1045). המלצה זו רלוונטית לכלל הענף הבנייה ותחום הבידוד בתוכו.

### ב. בניית מנועי צמיחה למשק

המחקר הראה כי יישום תסריטים שונים של בידוד מבנים בישראל יוביל לחיסכון כספי ניכר במשק של מאות מיליוני שקלים לשנה (לאחר זמן החזר ההשקעה). סקירת מקרי המבחן הראתה כי תכניות בידוד שונות בעולם הובילו להקמת מפעלים וליצירת אלפי מקומות וכן להפחתת זיהום הפוגם במשק, לפיכך ההתייחסות הרצויה לקידום תכניות בידוד הינה לא כסבסוד אלא כבניית מנוע צמיחה. לא כהוצאה אלא כהשקעה החוזרת בצורת חיסכון למשק ולאזרחים, בריאות אזרחים, עליית התמ"ג, הגדלת מקומות תעסוקה ועוד. המחקר מציע את המנגנונים הכלכליים<sup>6</sup> הבאים למימון הטמעת בידוד במבני מגורים:

#### 1. מענקים והלוואות לציבור:

- הטמעת תכניות מענקים: במסגרת תכניות אלו יינתנו מענקים להטמעת אמצעים חוסכי אנרגיה לאוכלוסיות בחתך סוציאקונומי נמוך.
- תכניות למתן הלוואות וחבילת מימון מסובסדת: תכניות אלו יוכלו להתאים לאוכלוסיות ממעמד סוציאקונומי גבוה ויכולות להתקיים במקביל לתכניות מענקים לבעלי מעמד סוציאקונומי נמוך. נקודת המפתח להלוואות אלו היא שגובה החזר השנתי (החזר + ריבית, במידה ויש) לא יעלה על גובה החיסכון הצפוי (כפי שיקבע ע"י סקר אנרגיה).

2. יצירת מסגרת רגולטיבית תומכת לתכניות ייעודיות לרשויות ולתאגידים עירוניים: בניית מסגרת רגולטיבית תומכת שתאפשר לרשויות ולתאגידים עירוניים להעמיד אפשרות לאשראי לצורך סיוע בהטמעת התייעלות אנרגטית במבנים.

3. הגברת התמריץ המוצע במסגרת תמ"א 38 או תכניות פינוי בינוי: במסגרת הפרויקטים למיגון מבנים כנגד רעידות אדמה (תמ"א 38) או תכניות פינוי בינוי המבוצעות כיום במימון פרטי או ציבורי. פרויקטים אלו מתקיימים ממילא ולכן עלות השיפור הבידוד למבנים הללו נמוך ביחס לשיפוצים שיש ליזום מן היסוד

4. הטמעת חסכון אנרגטי בדיוור הציבורי: בישראל קיימים למעלה מ-70,000 דירות במסגרת הדיוור הציבורי. דירות המושכרות לאוכלוסייה סוציאקונומית חלשה העומדת בתנאי זכאות של משרד הבינוי.

<sup>6</sup> מנגנונים אלו מבוססים על המחקר "מנגנונים כלכליים למימון הטמעת טכנולוגיות חסכוניות במבני מגורים" מאת ליאור שמואלי ודורי הרשגל, הוגש למשרד הבינוי והשיכון ולמשרד התשתיות הלאומיות, מאי 2014.

במסגרת זו אחראיות החברות הממשלתיות או ממשלתיות עירוניות לבצע שיפוצים בדירות, ניתן להרחיב חובה זו להשבחה אנרגטית של הדירות.

5. יישום מנגנוני המימון באמצעות חברת החשמל: הטלת חובה על חברת החשמל להטמיע אמצעי חסכון אנרגטי כחלק מתנאי הרישיון (חברת החשמל פועלת ע"פ רישיון הנקבע ע"י הרשות לשירותים ציבוריים). אלטרנטיבה נוספת בשיתוף חברת החשמל יכולה להיות מתן הלוואה לשדרוג אנרגטי של המבנה שתיגבה במסגרת חשבון החשמל של צרכנים. מנגנון זה מקל על תהליך הגבייה ומתאזן עם החיסכון לדייר.

### **תכניות אלו עשויות להשתלב עם יוזמות נוספות אשר מתקיימות במקביל ויש להן זיקה לביצוע תכניות retrofit למבנים. ביניהן:**

- סקר בדיקת פוטנציאל ההתייעלות האנרגטית והעמידה ב"ת"י 5281 למבנים קיימים: סקר זה נמצא כיום בתכניות המשרד להגנת הסביבה והלמ"ס וצפוי לכלול אלפי מבנים.
- מיגון מבנים בישראל: לאור האתגרים הביטחוניים מולם עומדת החברה הישראלית החליטה הממשלה ב 2013 לבחון את סוגיית מיגון העורף. הצוות הבין-משרדי שעסק בנושא המליץ לבחון את חיוב כלל בעלי הבתים בישראל למגן את ביתם מפני רקטות וטילים וכי על המדינה לשקול מתן תמרוץ כלכלי למיגון.
- קרן דיור ציבורי לרכישה ולשיפוץ מבנים: ועדת הכספים אישרה ביולי 2014 העברת 1.5 מיליארד שקל לקרן לדיור ציבורי, שתפעל באמצעות משרד הבינוי לרכישת מלאי נוסף של דירות ציבוריות, שיפוץ דירות קיימות ובניית מעונות במסגרת שיקום שכונות. להערכת הוועדה, סכום זה יאפשר לרכוש 1,000 דירות חדשות ולשפץ 12 אלף דירות קיימות. החלטה זו אינה מתייחסת להיבטים אנרגטיים בשיפוץ יחד עם זאת שדרוג אנרגטי יועיל מהותית לאוכלוסייה מן המעמד הסוציו אקונומי המתגורר בדיור הציבורי.
- חוק הקרן לניהול הכנסות המדינה מתמלוגי הגז: מליאת הכנסת אישרה ב 14 ביולי בקריאה שלישית את הצעת חוק "קרן לאזרחי ישראל". הקרן לניהול הכספים תוודא כי המדינה עושה שימוש הולם מהתקבולים ממשאבי הטבע בראיה שמדובר בנכסים בין-דוריים ולפיכך לנהל את הכנסות הקרן בראייה ארוכת טווח לטובת מטרות חברתיות, כלכליות וחינוכיות.

### **ג. העצמת צרכן הקצה**

עולם הצרכנות השתנה באופן מהותי בשנים האחרונות. הצרכן אינו דומם, הוא נגיש לידע ולכלים משפטיים, התאגדותיים ותקשורתיים שכמותם לא היו קיימים עד לפני עשור. יחד עם זאת, תחום הבידוד חבוי בתוך הקיר וגם כאשר הוא גלוי, הצרכן אינו מסוגל לשפוט את טיבו. הפתרונות המוצעים בתחום זה עוסקים בהעצמת צרכן הקצה ע"י כלים וידע.

המצלמה התרמית של חברת FLiir. מתוך אתר החברה.

## 1. מתן כלים ופרסום לצרכן הקצה:



הצרכן הישראלי נחשב ל Early Adopter של טכנולוגיות מתקדמות, ביניהן אפליקציות שונות לטלפונים חכמים. כבר כיום קיימים מגוון מוצרים המאפשרים נגישות לטכנולוגיות שבעבר עלו הון וכיום הן זמינות לצרכן הקצה בעלות נמוכה. דוגמא לטכנולוגיה כזו היא המצלמה התרמית. עשרות יצרנים מציעים מצלמה שכזו, המתחברת לסמרטפון ומאפשרת לבחון בריחת חום, בידוד לקוי, לחות, חדירת מים ועוד. שימוש בכלי זה יאפשר לצרכן, או לנציג מקצועי מטעמו, לזהות ליקויים

וכשלים תרמיים בדירות עוד בטרם רכישת הדירה. (ואף ככלי פיקוח של קבלנים על קבלני משנה) כלים כגון אלו, בנוסף לפרסום במדיות מסורתיות יותר, יכולים להוביל לשינוי תפיסה בקרב צרכני הקצה.

צילום: אדר' ויקטור אבקסיס, אוגוסט 2014, וילמומבל, פריז, דוגמא לדירוג אנרגטי בפרסום למכירת דירה ישנה

## 2. תעודת דירוג אנרגטי לדירות:



הצרכן הישראלי התרגל לקרוא ולהבין דירוגים אנרגטיים, הקיימים למכשירי חשמל שונים. ע"פ הצעה שאושרה בקבינט ביוני 2014 צפויים להינקט בעתיד צעדים לביסוס והנגשת דירוג אנרגטי למבנים. כך שכל צרכן המעוניין לרכוש דירה יוכל לדעת מראש מה מידת צריכת האנרגיה של הבניין, כפי שנעשה כיום עם כל מכשיר חשמלי הנרכש בחנויות. יש לוודא שבניית הדירוג אכן מתממשת, שהדירוג מפקח ושהמידע מועבר לצרכן באופן מסודר, קריא ומחויב ע"פ חוק. בנוסף יש לוודא כי המידע על הדירוג האנרגטי של דירה ניתן להעברה (כדוגמת תעודה העוברת ממוכר הדירה לקונה) וכן שהדירוג האנרגטי מתעדכן במידה והמבנה או הדירה משופצים ומשתדרגים תרמית.

## ד. תקנים וחקיקה

### 1. סנכרון תקנים וחקיקה

סקירת החסמים הראתה היעדר סנכרון בין התקנים השונים העוסקים בבידוד תרמי (ת"י 1045, ת"י 5281, ת"י 5282, ת"י 5280). יש לייצר מהלך הבוחן את כלל התקנים העוסקים במעטפת המבנה, בראייה הוליסטית הנוגעת באופן השתלבות ותיאום התקנים זה עם זה. יש לבצע מהלך דומה הבוחן את כלל התקינה העוסקת בבינוי ובמסגרת זו נטרול סתירות בין תקנות האש לתקני הבידוד. סתירה זו יוצאת מצב אבסורדי שבו יד אחת מתאמצת ליצור ביקוש לבידוד ע"י חקיקה בעוד יד שנייה חוסמת אותו.

### 2. בניית תקן לבדיקת איכות מוצרי הבידוד

בניית תקן לפיקוח איכות מוצרי בידוד מצוי בתכניות העבודה של מכון התקנים ל-2015. יש לוודא כי הדבר אכן מתבצע, הן ע"י תקינה המתואמת עם יצרני ויבואני הבידוד בישראל והן ע"י גיבוי של מעבדה שבכוחה לוודא את

אמיתות הנתונים. תקן שכזה יפחית את החשש ממוצרי בידוד חדשים וכן יוודא את איכותם של מוצרי הבידוד הקיימים.

#### ה. בניית ראיית על לשוק הבידוד

קיימות מס' דוגמאות בישראל להתאגדות מוצלחות של ארגונים מקצועיים, על אף קיומם של אינטרסים שונים בין חברי האיגוד. דוגמאות לכך ניתן לראות במועצת הלול, מועצת הצמחים (העוסקים בפירות וירקות), איגוד יצרני הפלסטיקה והגומי בישראל, איגוד תעשיית האלקטרוניקה והתוכנה ועוד. מחקר זה העלה מספר נושאים אשר יכולים להוות בסיס ראשוני לפעילות פורום חברות הבידוד: לובי לשיפור, שינוי ותיאום תקינה, יצירת קונצנזוס בין יצרנים לקבלנים, בניית מודעות ע"י תשדירי שירות ופרסום, הכשרות, סיורים לקבלנים, הדגמת טכנולוגיות, קידום תכניות סבסוד ועוד. קיומו של לובי מהווה תשובה ל"היעדר אב ואם" לתחום הבידוד כפי שצוין מס' פעמים ע"י המרואיינים למחקר זה.

#### הערה:

כפי שצוין, המחקר מתמקד בבחינת השפעת בידוד מעטפת הבניין בלבד על צריכת האנרגיה בנייני מגורים קיימים וחדשים. יתרה מזאת, השפעת הבידוד היא יחסית ולא אבסולוטית, והיא תלויה בגורמים טכנוניים נוספים אשר נלקחו במחקר זה כקבועים (כגון סוג וגודל החלונות, סוג הזיגוג, חדירת אוויר, ועוד). תוספת של בידוד זהה בשני מבנים שונים יכולה להביא להשפעה שונה על הביצועים האנרגטיים של המבנים, ולכן קשה לבודד גורם טכנוני אחד מבלי להסתכל על התמונה המלאה. הוספת בידוד בבניינים ישנים, למשל, ללא טיפול בגורם כמו חדירת אוויר דרך החלונות, עלולה להסתבר כלא יעילה.

המחקר מפרט הצעות למחקרי המשך אפשריים על מנת להבהיר נקודה זו, ע"י סדרת מחקרים הבוחנת מרכיבים שונים במעטפת כגון חלונות, אוורור ואיטום, השוואה בין המרכיבים השונים, יתרונות כל מרכיב וכלים לבחירת המרכיבים המתאימים ביותר לחתכי הקירות. בנוסף לאלו המחקר מציע מחקר המשך כלכלי לבחינת חסכון כספי ואנרגטי הנובע מעמידה בפועל בתקנים תרמיים ע"י בחינת מקרי מבחן בנויים לאורך שנה. כולל השוואה בין מבנים שונים.

## 1. הקדמה

### 1.1 אתגר האנרגיה העולמי:

- 1) באמצע המאה שעברה בעבור כל חבית נפט שהושקעה לצורך שאיבת נפט ניתן היה להפיק 100 חביות חדשות של נפט. כיום על כל חבית נפט שמשקיעים בתהליך ניתן להפיק כ-20-15 חביות של נפט וגז טבעי.<sup>7</sup> עם השנים הפכו מקורות האנרגיה המתכלים לקשים יותר להשגה והפקתם הופכת ליקרה יותר מבחינה אנרגטית עקב הצורך לשאוב מבארות עמוקים יותר, מה שמייקר את עלות הקידוח והשאיבה. החזר האנרגיה על גז טבעי היה כ-100 באמצע המאה ה-20 והוא כיום כ-10. החזר ההשקעה של הגז הטבעי נמוך יותר מהחזר האנרגיה של הנפט שכן הוצאות התפעול האנרגטיות גבוהות יותר (לדוגמא: הכנת אסדת קידוח לשם הפקת גז, שינוע הגז וכו').
- 2) ב-50 השנים האחרונות גדלה אוכלוסיית העולם מ-2.5 מיליארד איש ל-7 מיליארד איש. ההערכות המחמירות של האו"ם מדברות על גודל אוכלוסייה צפוי של 11-14 מיליארד איש עד לסוף המאה הנוכחית.
- 3) כמות המשאבים שצרך משקי הבית בעולם עלה פי 4 מאז אמצע המאה שעברה. המשפחה הממוצעת צורכת אנרגיה ומוצרי חשמל בכמויות הולכות וגדלות. כמעט ממחצית מחברי מעמד הצרכנים הגלובאלי מגיעים ממדינות מתפתחות כהודו וסין המחפשים את אותו ה"שגשוג" שהיה בעבר נחלתו הבלעדית של העולם המערבי במאה הקודמת.<sup>8</sup>

אנו רואים 3 מגמות המצויות במסלול התנגשות: (1) האנרגיה המתכלה הזמינה נעשית קשה יותר להשגה (2) אוכלוסיית העולם הולכת וגדלה, מיליארדים רבים יצטרפו למשפחת האדם בעשרות השנים הקרובות (3) הצריכה לנפש עולה, העולם השלישי מנסה להשיג את העולם במערבי בצריכת משאבים ושיפור איכות החיים.

### 1.2 נקודת התורפה האנרגטית של ישראל:

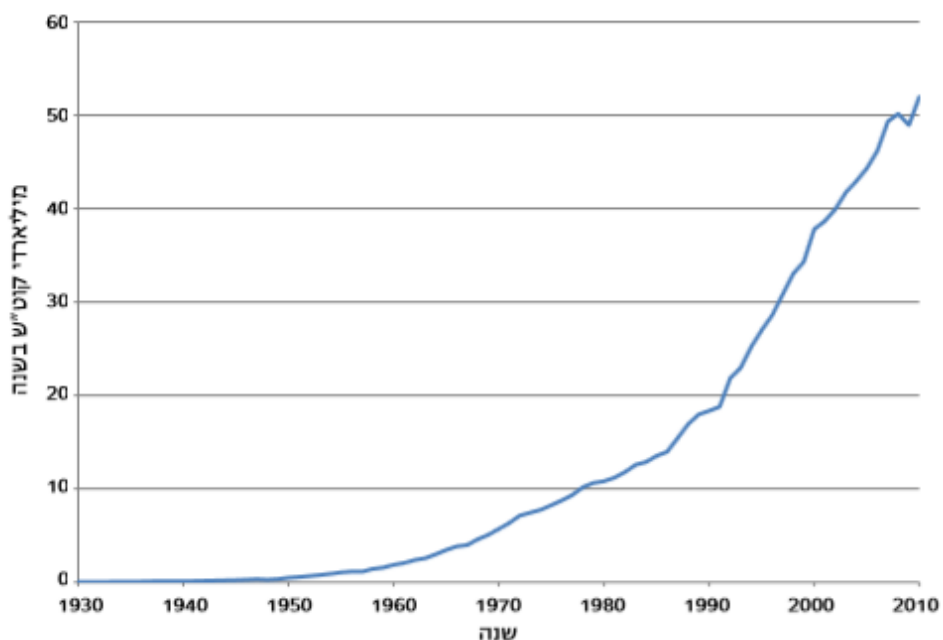
אנו רואים בתרשים 1 כי צריכת החשמל בישראל נמצאת בעלייה מתמדת, הצריכה בישראל כיום היא פי 5 מאז שנות השמונים (בעוד האוכלוסייה גדלה מאז רק פי 2).

---

<sup>7</sup> New Studies in EROI (Energy Return on Investment). Edited by Doug Hansen and Charles A. S. Hall. Special issue of Sustainability, Vol. 3 ; 2011.

<sup>8</sup> צורכים עולם, תרבות הצריכה, הערכת מצב, the worldwatch institute, 2006.

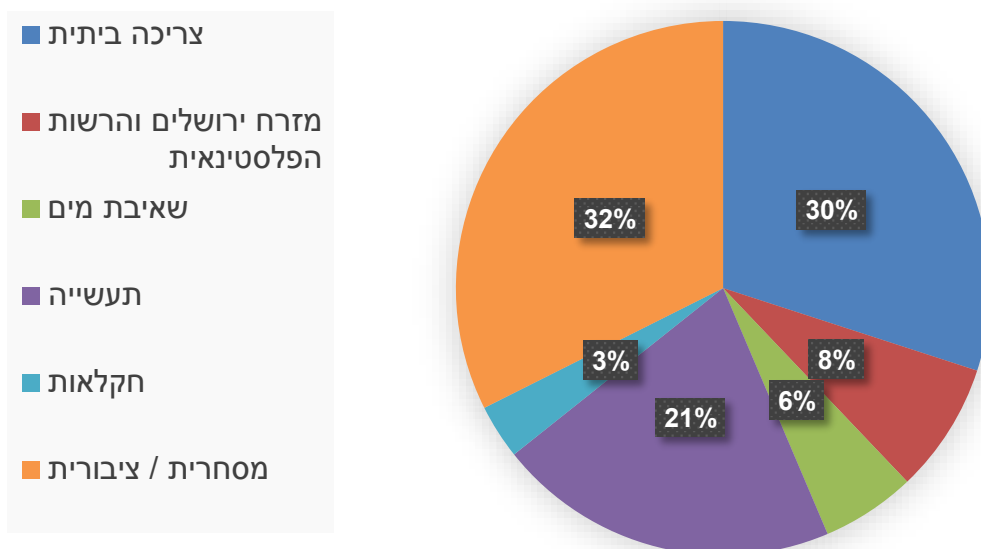
**תרשים 1: צריכת החשמל בישראל 1930-2010 במיליארדי קוט"ש לשנה**



מקור הנתונים: חברת החשמל, 2010. עיבוד הנתונים: הפורום הישראלי לאנרגיה, 2013

תרשים 2 , המציג את התפלגות צריכת החשמל לפי סוגי צרכנים, מראה כי הצרכנים העיקריים של החשמל בישראל הם משקי הבית והצריכה המסחרית ציבורית (כ-30% כ"א). התעשייה צורכת רק כ-20% מסך צריכת האנרגיה בישראל והחקלאות רק כ- 3.3% מסך צריכת האנרגיה. בישראל צריכת האנרגיה במבנים (מגורים, תעשייה ומסחר) נאמדת בכ-70% מכלל תפוקת החשמל, שהיא כ-40% מסך האנרגיה הראשונית הנצרכת.

**תרשים 2: התפלגות צריכת החשמל לפי סוגי צרכנות**



מקור הנתונים: דין וחשבון סטטיסטי, 2011 חברת החשמל לישראל

מתוך התפלגות צריכת האנרגיה של משקי הבית הישראלי, אנו רואים כי הצרכן ה"רעב" ביותר במשק הבית הוא המזגן. אקלום שטחי המגורים ע"י המזגנים מהווים כ-35% מסך צריכת האנרגיה השנתית למשפחה. כלומר 2,569 קוט"ש בשנה (בעוד כלל צריכת החשמל למשפחה הוא 7,363 קוט"ש בשנה). אקלום מבני מגורים אם כך הוא גורם מרכזי ומשפיע על צריכת החשמל במשק הישראלי.

טבלה 1: התפלגות מרכיבי השימוש בחשמל במשק הבית הממוצע.

מוצר חשמלי ביתי	צריכת קוט"ש בשנה של המוצר	אחוז הצריכה של המוצר מסך חשבון החשמל השנתי
מקררים	1,299	18%
מזגנים	2,569	35%
מכונות כביסה	647	9%
מייבשים	197	3%
תנורים	116	2%
טלוויזיות	629	9%
מדיחי כלים	83	1%
תאורה	566	8%
חימום מים	848	12%
מצב המתנה של מכשירים שלא נעשה בהם שימוש	409	6%
אחר	252	3%
סה"כ	7,363 קוט"ש בשנה	100%

מקור הנתונים: תחשיב שבוצע במסגרת הפרויקט הישראלי לאנרגיה עבור מחקר אפס פליטות פחמן בישראל, חזון למשק האנרגיה בשנת 2040, הסבת משק החשמל של ישראל לנטול פליטות גזי חממה, אוקטובר 2012.

אוכלוסיית ישראל מונה כיום (2014) כ-8 מיליון איש. עד שנת 2024 הלמ"ס צופה שגודל האוכלוסיה בישראל יהיה כ-10 מיליון איש ועד שנת 2059 עשויים לחיות בישראל כ-20 מיליון איש<sup>9</sup>. ניתן להניח כי הביקוש לאנרגיה יעלה עם עליית מספר התושבים, כלומר צריכת האנרגיה במבני מגורים תגדל באחוזים ניכרים. התחזיות<sup>10</sup> (המשקללות הן את גידול האוכלוסין והן את העלייה בצריכה על פי קווי מגמה ליניאריים) מעריכות כי תוך כ-20 שנה ביקוש החשמל בישראל יהיה לפחות פי 4 מכפי שהוא כיום. התרבות הישראלית התרגלה למציאות שבה ניתן להתבצר בין קירות המבנה ולאפשר למכשירי החשמל להתמודד בלעדית עם הצורך בטמפרטורה נוחה.

אנו רואים גם כי בנוסף לעלייה בצריכה והעלייה במספר הצרכנים, ישנה עלייה מהותית בגודל הדירות בישראל. שטח המגורים בפועל לנפש גדל מ-14.6 מ"ר ברוטו בשנת 1960 ל-28.5 מ"ר ברוטו ב-1997 - עלייה של 95%<sup>11</sup>. השטח הממוצע לדירה חדשה בישראל היה 115 מ"ר ברוטו (כולל שטחים משותפים) ב-1980, 155 מ"ר ברוטו

<sup>9</sup> תחזיות אוכלוסייה לישראל לטווח ארוך: 2009-2059, אגף דמוגרפיה ומפקד, הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, 2012.

<sup>10</sup> אפס פליטות פחמן בישראל, חזון למשק האנרגיה בשנת 2040, הסבת משק החשמל של ישראל לנטול פליטות גזי חממה, אוקטובר 2012

<sup>11</sup> שוקי כהן, הביקוש לשטחי מגורים, תכנון כולל משולב למדינת ישראל (תמ"א 35), 27 נובמבר 2005 (במקור "ארץ - תמ"א 35", שנת 1998)

בשנת 2,000 וכ-190 מ"ר ברוטו כיום. דירות גדולות יותר דורשות אנרגיה גדולה יותר לצרכי אקלום, ככל שהמ"ר בדירה עולה, כך יש צורך ביותר אנרגיה על מנת ליצור נוחות תרמית לדיירים. תרשים 3 מציג עלייה הדרגתית זו.

תרשים 3: שטח ממוצע לדירה חדשה בישראל לאורך השנים

ירוק: דירה שבנייה החלה  
באותה שנה  
אדום: דירה שבנייה הסתיימה  
באותה שנה  
מקור הנתונים: הלמ"ס



לאור העלייה בצריכת האנרגיה למשקי הבית וכן העלייה בצפוייה בגודל האוכלוסיה, על מדינת ישראל לשאוף לשינוי מהותי באופי צריכת האנרגיה בישראל ובאופן ספציפי במבנים. מחקר<sup>12</sup> שנעשה ב-2013 בחן את השפעת מאפייני הבנייה הירוקה (הפניית הבניין, בידוד קירות ותקרה, ציפוי חלונות, הצללות, אוורור, צבע המבנה ועוד) על צריכת האנרגיה במבני מגורים. הוכח כי שילוב מאפייני הבנייה הירוקה יכול להפחית את צריכת החשמל בבתי מגורים במעל ל-40%. נמצא גם כי שיפוץ מבנים קיימים עשוי להפחית בין 17%-ל-27% מצריכת החשמל במבנים אלו. החסכון נובע בין היתר מהפחתת התלות בצריכת החשמל למיזוג או חימום מבנים.

<sup>12</sup> "הערכת הפוטנציאל לחסכון באנרגיה באמצעות בנייה ירוקה בישראל." דו"ח מסכם שהוגש ע"י דוד פרלמוטר ומוראל וויסטל, היחידה לאדריכלות ובינוי ערים במדבר, המכונים לחקר המדבר ע"ש בלאושטיין, לפורום הישראלי לאנרגיה במסגרת המחקר "אפס פליטות פחמן בישראל, חזון למשק האנרגיה בשנת 2040", אוקטובר 2013.



לזאת ניתן להוסיף את הטיעון הכלכלי הפשוט לחיסכון. עלות קוט"ש לצרכן הפרטי עלתה (בממוצע) בעשרות אחוזים בעשור וחצי האחרון (34.44 אגורות לקוט"ש בשנת 2,000 ולעומת כ-65 אגורות לקוט"ש כיום בשנת 2014<sup>13</sup>, הירידה הצפויה בעלויות קוט"ש בשנת 2015 אינן מבטלות את העלייה המצטברת לאורך 15 השנים האחרונות). כמו כן, עלויות הקמת תחנות כוח נוספות על מנת לעמוד בדרישות האנרגיה של המשק מוכיחות כי אי היציבות בשוק החשמל, הנובעת בין היתר מחוסר התקדמות ברפורמות בחברת המחשמל, תגליות הגז, ההסתמכות במדינות זרות לאספקה אנרגיה, תקנות סביבתיות וכו', הופך את הקמתן ללא כלכלי (דוגמא לכך היא תחנת הכוח באשקלון, תחנת D, אשר עלות הקמתה זינקה מ-1.4 מיליארד שקל ב-2008 לכ-8 מיליארד שקל ב-2014, מספרים אשר תרמו להקפאת הפרויקט ב 23.11.2014<sup>14</sup>).

לאור נתונים אלו, ניתן להבין את חשיבותן של מעטפות המבנים בישראל לעתידה האנרגטי ולשימור איכות החיים של תושביה. יש להדגיש את חשיבות השילוב בין כלל האלמנטים במעטפת המבנה על מנת להשיג חסכון אנרגטי מיטבי (ע"י זיגוג, שטחי חלונות, בידוד קירות ותקרות, פתחי אוורור טבעי, הצללות, גווני חומרים וחיפויים). מחקר זה מתמקד בחסמים ובהזדמנויות בתחום בידוד המבנים באופן ספציפי, מתוך הכרה בכך שיש צורך במחקרים דומים עבור האלמנטים הנוספים במעטפת המבנה ובשילוב ביניהם.

---

<sup>13</sup> ניתוח הכשלים בפיתוח משק החשמל בישראל, אליעזר שוורץ, 2009, מרכז המחקר והמידע של הכנסת, המחלקה לפיקוח תקציבי

<sup>14</sup> אחרי 13 שנה: תבוטל הקמת תחנת כוח נוספת באשקלון, 23.11.2014, אבי בר-אלי, TheMarker

## 2. סקירה וניתוח פתרונות לבידוד בנייני מגורים

פרק זה מציג הסבר על השפעתו של הבידוד על אקלום הבניין וצריכת האנרגיה בו. כמו כן, מוצגות יתרונות השימוש בבידוד וכן טכנולוגיות הבידוד הרווחות בישראל.

### 2.1 תפקידו של הבידוד בבניין

#### א. כללי

בכדי לשמור על טמפרטורה יציבה בבניינים, יש להגביל את קצב מעבר החום בין חללי הפנים לבין הסביבה בה הבניין נמצא. שמירת חום בתוך בניין לאורך זמן על ידי בידוד מעטפת הבניין יכולה להביא לחיסכון בצריכת אנרגיה ולהפחתה בהוצאות לחימום. באותו אופן, בניין בעל בידוד איכותי אשר בו כמות הקרינה מפוקחת והוא מאוורר כראוי יכול להיות קריר יותר בימי הקיץ מבניין דומה ללא בידוד<sup>15</sup>. בניגוד לדעה הרווחת, בידוד תרמי של מבנים חשוב במידה שווה הן בקיץ והן בחורף (בפרט באקלים חם כמו בישראל), בעיקר בעקבות עליית הטמפרטורה הממוצעת בעולם, הנובעת מהתחממות הגלובלית.

ככלל, מעבר של חום ממקום למקום יכול להתבצע ב-3 דרכים: הולכה, הסעה וקרינה. ברוב המבנים הנבנים כיום חום עובר בהולכה (דרך מעטפת המבנה), אולם גם להסעה ולקרינה יש תפקיד משמעותי בתפקוד התרמי של בניינים.

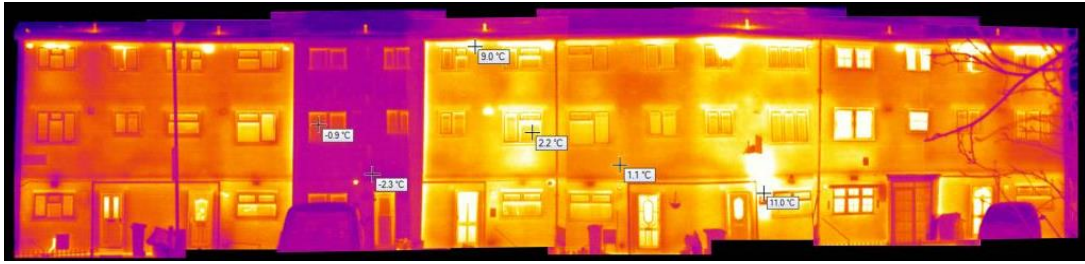
מעבר חום בהולכה מתבצע ע"י התנגשויות בין אטומים בחומר ובעקבות תנועה מהירה של אלקטרונים בהם. חומרים בעלי צפיפות ומבנה אטומי מסוים (מתכות למיניהן) מאפשרים הולכת חום באופן טוב יותר מחומרים אחרים. ריק (ואקום), למשל, אידיאלי לבידוד מעבר חום בהולכה שכן אין בו אטומים המסוגלים להוליך חום. מסיבה זו, גזים בעלי פיזור רחב של אטומים יכולים להיות גם הם מבודדים טובים, והם אכן נמצאים בשימוש בבידוד חלונות בעלי זיגוג כפול, למשל. במבנים, קירות מעטפת ללא בידוד עלולים להוליך חום מצידם האחד לצידם האחר בקלות יחסית. כיוון שריק וגזים אינם יכולים לשמש כחומר מבני, מוצרי בידוד רבים משתמשים באוויר כלוא כ"חומר הבידוד הפעיל"<sup>16</sup>.

אזכור הזז ממקום למקום יכול להעביר חום בהסעה. על כן ישנה חשיבות רבה לאטימות המבנה בעת בידודו: התקנת בידוד באופן לא איכותי, כזה המאפשר מעבר של אוויר דרך סדקים וחרכים (בעיקר סביב פתחים חלונות ודלתות) יכול להביא לכך שהבידוד לא יבצע את תפקידו באופן המצופה.

כל גוף חם פולט קרינה אלקרומגנטית לכיוונים שונים. במבנים, אלמנט מבני שמתחמם עקב תנאי האקלים החיצוניים עלול לפלוט קרינה גם פנימה – אל תוך חלל הבניין, ולחמם אותו. על מנת להפחית את מעבר החום הנ"ל, משטחים מבודדים יכולים להיות מצופים ברדיד אלומיניום רפלקטיבי אשר מחזיר קרינה אלקרומגנטית, ומונע ממנה מלחמם את מעטפת הבניין.

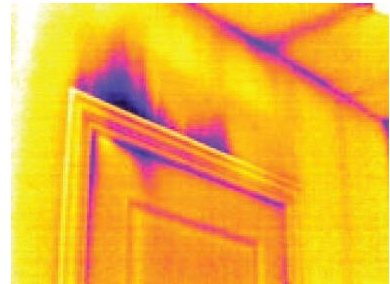
<sup>15</sup> A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering: An Integrated Approach to Energy, Health and Operational Performance (BEST (Buildings, Energy and Solar Technology)) by Dejan Mumovic (Editor), Mat Santamouris (Editor)

<sup>16</sup> McMullan Randall, 2007. Environmental Science in Building – Sixth edition. Palgrave Macmillan, p.14-19.



תמונה 1: השפעת הבידוד על הולכת חום דרך קירות. היחידה הצבועה סגול עברה שיפוץ הכולל בידוד ואיטום. שאר היחידות – אלו הצבועות צהוב – בעלי מעטפת בניין בעלת ביצועים פחותים.

מקור: Bere:Architects



תמונה 2: זליגת אוויר בהסעה סביב פתחים על פני מעטפת הבניין.

מקור: Bere:Architects

חומר מבודד הוא חומר אשר מתנגד למעבר של חום בין אזורים בעלי טמפרטורה שונה בכלל, ומונע מעבר של חום בהולכה בפרט. מוליכות תרמית היא הממד העיקרי והבסיסי ביותר של בידוד בהולכה. שיקולים נוספים שיכולים להילקח בחשבון בעת בחירת חומר בידוד:

- אורך החיים של המוצר
- אטימות (התנגדות ללחות ולמים)
- עמידות אש
- מחיר
- השפעות סביבתיות (בעת ייצור חומר הבידוד)
- יכולת בידוד אקוסטית
- השפעות בריאותיות של חומר הבידוד
- נוחות השימוש והעבודה
- עמידות לחרקים ופטריית

יתרון נוסף שמקנה בידוד הוא סיכוי מופחת לעיבוי על פני קירות. עיבוי מתרחש כאשר אוויר חם ולח (רווי באדי מים) נפגש במשטח קר המביא לירידה של טמפרטורת האוויר. ירידת הטמפרטורה מביאה לכך שמולקולות האוויר מתקרבות האחת לשנייה כך שהן מסוגלות לשאת פחות ופחות אדי מים. בנקודה בה האוויר רווי לחלוטין (נקודת העיבוי) – טיפות מים יחלו להופיע על גבי המשטח הקר.

בתי מגורים הם חללים בעלי אוויר חמים ולח (הן כתוצאה מתהליך הנשימה של המשתמשים, והן מפעולות שונות כגון בישול, רחצה וכו'). בעונת החורף, קירות מעטפת לא מבודדת עלולות להתקרר במהירות גדולה יחסית, ולהגדיל את הסיכון לעיבוי בחלקן הפנימי. בידוד איכותי, על כן, יכול להביא לסיכוי מופחת ליצירת עיבוי.

היכולת של אלמנט מבני (קיר \ גג וכו') להוליך חום תלויה בשלושה גורמים: הפרש הטמפרטורה משני צדיו, המוליכות התרמית שלו וגודל שטח הפנים שלו<sup>17</sup>.

### ב. מושגים בסיסיים בבידוד

כיוון שעיקר מעבר החום דרך מעטפת הבניין מתרחשת בהולכה, המוליכות התרמית הכוללת של האלמנט המבני (קיר\ תקרה וכו') היא זו הקובעת את קצב מעבר החום. המוליכות התרמית של הכוללת של האלמנט המבני מושפעת מהמוליכות התרמית של כל מרכיב בו. למשל: המוליכות התרמית של קיר המורכב משכבות של: טיח חוץ – בטון – שכבת בידוד – גבס – טיח פנים, תהיה תלויה במוליכות התרמית של כל שכבה או כל חומר המרכיב את הקיר.

#### מוליכות תרמית (k-Value, λ Value):

מוליכות תרמית –  $\lambda$  [W/mK] (וואט למטר קלווין) היא המידה המבטאת את הקצב בו חום מועבר דרך חומר.  $\lambda$  מוגדרת כקצב מעבר של חום (וואט) דרך חומר בעל עובי של 1 מ' ושטח פנים של 1 מ<sup>2</sup> עבור הפרש טמפרטורות של 1 מעלת קלווין (או צלזיוס, כיוון שמעלת קלווין שווה למעלת צלזיוס). חשוב לציין כי המוליכות התרמית המדויקת של חומרי בנייה זהים עלולה להשתנות, בין השאר כתלות בהבדלים בשיטות הייצור (צפיפות חומר שונה, למשל), קצב התיישנות שונה, ריכוז הלחות באוויר ועוד.

#### התנגדות תרמית (R-Value):

R-Value ( $m^2K/W$ ) הוא הערך המכמת את היכולת של חומר להתנגד למעבר של חום. רמת התנגדות החומר תלויה בקצב בו החומר מוליך חום וכן בעוביו של החומר. בהנחה שהרכב החומר הומוגני, R-Value יחושב כך:

$$R = d / \lambda$$

כאשר:

$$R [m^2K/W] = \text{התנגדות תרמית}$$

$$D [m] = \text{עובי החומר}$$

$$\lambda [W/mK] = \text{מוליכות תרמית}$$

בנוסף ליכולת של החומר עצמו להתנגד למעבר חום, האוויר הנמצא במגע ישיר עם פני השטח שלו מתנגד גם הוא להולכת חום. ערכי התנגדות פני שטח של חומר הפונה לפנים הבניין (s-in) שונים מאלו של פני שטח הפונים החוצה (s-out), זאת בשל תנאי הסביבה (הסעת אוויר ע"פ פני השטח, קרינה עליו וכו'). ערכי התנגדות של

<sup>17</sup> המדריך לבנייה אקלימית בישראל. היחידה לאדריכלות ובינוי ערים במדבר. המחלקה לאדם במדבר, המכון למחקר סביבות צחיחות המכונים לחקר המדבר ע"ש יעקב בלאושוטיין אוניברסיטת בן-גוריון בנגב, יוני 2010.

פני השטח של חומרים שונים נקבעו ע"י ניסויים, וכיום ניתן להשתמש בערכי התנגדות סטנדרטיים לצורך חישוב R-Value כללי של חומר.

ההתנגדות הכללית של אלמנט מבני (קיר \ גג) היא סכום ההתנגדויות של כל השכבות המרכיבות את האלמנט:

$$R_T = R_{s-in} + R_2 + R_3 + \dots + R_{s-out}$$

#### העברה תרמית (U-Value):

העברה תרמית – U-Value ( $W/m^2k$ ) היא היכולת של אלמנט מבני להעביר חום. U-Value מוגדר כקצב מעבר של חום (וואט) דרך שטח של אלמנט מבני ( $m^2$ ), כאשר הפרש הטמפרטורות בין שני צדי האלמנט הוא 1 מעלת קלווין (או צלזיוס).

U-Value, על כן, מחושב לפי הנוסחה הבאה:

$$U = 1 / R_T$$

כאשר:

העברה תרמית =  $U [W/m^2K]$

התנגדות תרמית כללית =  $R_T [m^2K/W]$

ג. חומרים שונים ומוליכות תרמית (λ) – כפי שמפורט בת"י 1045.

טבלה ב-1 - תכונות תרמיות של חומרי בנייה שונים

מס'	החומר	המסה המרחבית (ρ) (ק"ג למ"ק)	מוליכות תרמית חישובית (λ) (וט למ' ק"ג)	קיבול חום סגולי (c) (קג"ל לק"ג ק"ג)
<b>1</b>	<b>טיח, מלט וכדומה</b>			
1.1	מלט סיד-צמנט	1800	0.87	0.86
1.2	מלט צמנט	2000	1.40	0.90
1.3	מלט גבס-סיד, מלט גבס	1400	0.70	1.08
1.4	טיח גבס בלא אגרגאט	1200	0.35	1.08
1.5	מסטיק אספלט בעובי גדול מ-7 מ"מ	2000	0.70	1.66
1.6	מ-15 מ"מ	2300	0.90	
1.7	ביטומן	1100	0.17	
<b>2</b>	<b>בטון</b>			
2.1	בטון רגיל עם אגרגאט רגיל ועם חול קוורץ	2400	2.10	0.97
2.2	בטון תאי מאושפר באוטוקלב	301 - 374	0.12	0.97
		450 - 375	0.14	
		500 - 451	0.15	
		570 - 501	0.16	
		650 - 571	0.19	
2.3	בטון עם אגרגאט רגיל בלא אגרגאט דק	1600	0.81	0.97
		1800	1.10	
		2000	1.40	
2.4	בטון עם אגרגאט קל בלא אגרגאט דק	600	0.22	0.97
		700	0.26	
		800	0.28	
		1000	0.36	
		1200	0.46	
		1400	0.57	
		1600	0.75	
		1800	0.92	
		2000	1.20	
2.5	בטון עם אגרגאט קל חפף <sup>(א)</sup>	500	0.15	0.97
		600	0.18	
		700	0.20	
		800	0.24	
		900	0.27	
		1000	0.32	
		1200	0.44	

מס'	החומר	המסה המרחבית (ρ) (ק"ג למ"ק)	מוליכות תרמית חישובית (λ) [וט למ'·ק']	קיבול חום סגולי (c) [קג"ל לק"ג·ק']
2.6	בטון קל (שמבנהו סגור) עם אגרגאט גס קל ועם חול שאינו קוורץ והמיוצר בתנאי בקרה טובים <b>הערה:</b> לבטון כמתואר לעיל עם חול קוורץ, מגדילים את הערכים של המוליכות התרמית החישובית ב-20%	800	0.39	0.97
		900	0.44	
		1000	0.49	
		1100	0.55	
		1200	0.62	
		1300	0.70	
		1400	0.79	
		1500	0.89	
		1600	1.00	
		1800	1.30	
2000	1.60			
3	<b>לוחות ויריעות</b>			
3.1	אסבסט צמנט	2000	0.58	0.83
3.2	לוחות גבס קרטון	900	0.21	1.08
3.3	לבידים	800	0.15	1.98
3.4	שבבית לחוצה	500-700	0.13	1.98
3.5	שבבית מיוצרת בשיחול	700	0.17	1.98
3.6	סיבית קשיחה	1000	0.17	1.98
3.7	ריצוף לינולאום	1000	0.17	1.66
3.8	ריצוף פי-וי-סי	1500	0.23	1.66
3.9	יריעות ביטומן	1200	0.17	1.66
4	<b>עץ</b>			
4.1	ברוש, אורן, אשוח	600	0.13	1.8
4.2	אלון	800	0.20	1.8
5	<b>אבן וקרקע</b>			
5.1	גרניט, שיש, פורפיר	2800	3.50	0.9
5.2	אבן חול, אבן גיר	2600	2.30	0.86
5.3	אבן וולקנית נקבובית	1600	0.55	-
5.4	חול	-	1.40	0.83
5.5	חצץ מבטון תאי מאושפר באוטוקלב	350	0.15	0.97
6	<b>זכוכית</b>	2500	0.80	0.83
7	<b>מתכת</b>			
7.1	פלדה	-	60	0.50
7.2	נחושת	-	380	0.40
7.3	אלומיניום	-	200	0.9
8	<b>גומי</b>	1000	0.2	1.37
9	<b>אריחים</b>			
9.1	אריחים קרמיים	2000	1.0	-
9.2	אריחי קרמיקה או פסיפס מזוגגים	2000	1.2	-

מס'	החומר	המסה המרחבית (ρ) (ק"ג למ"ק)	מוליכות תרמית חישובית (λ) [וט ל(מ'·ק'')]	קיבול חום סגולי (c) [קג"ל ל(ק"ג·ק'')]
<b>10</b>	<b>חומרי בידוד</b>			
10.1	לוחות פוליסטירן מוקצף קשיח מיוצר מגרגירים (בהתאם לת"י 1229 חלק 1)	15-30	0.040 <sup>(ב)</sup>	-
10.2	לוחות פוליסטירן מוקצף קשיח מיוצר בשיחול (עם כיסוי) (בהתאם לת"י 1229 חלק 1)	20 30	0.040 <sup>(ב)</sup> 0.032 <sup>(ב)</sup>	-
10.3	לוחות פוליאוריתן מוקצף קשיח (בהתאם לת"י 1229 חלק 1)	≥ 27	0.030 <sup>(ב)</sup>	-
10.4	קצף פוליאוריתן מותז (בהתאם לת"י 1229 חלק 3)	≥ 27	0.030 <sup>(ב)</sup>	-
10.5	צמר סלעים וצמר זכוכית (בהתאם לת"י 751 עם צפיפות מוצהרת (בק"ג למ"ק): ≤ 10 12-10.1 16-12.1 24-16.1 > 25	-	0.048 0.047 0.045 0.044 0.041	0.86
10.6	פנולפורמלדהיד מוקצף קשיח	≥ 27	0.027 <sup>(ב)</sup>	1.48
10.7	טיח תרמי משופר (עם גרגרי פוליסטירן מותפח) (בהתאם לת"י 1414 חלקים 1 ו-2)	200 250 300 350 400 450	0.075 0.082 0.095 0.105 0.115 0.140	-
10.8	פרליט מותפח (בתפזורת)	≤ 100	0.060	-
10.9	וורמיקוליט מותפח (בתפזורת)	≤ 100	0.070	-
<b>הערות לטבלה:</b>				
(א) חפץ - pumice.				
(ב) בחישוב בידוד תרמי באזור ד מוסיפים 5% לערך החישובי של λ.				



#### ד. בידוד פנימי ובידוד חיצוני

בבואנו להתקין בידוד על גבי מעטפת הבניין, עומדות בפנינו האפשרויות להתקין את הבידוד בחלקו הפנימי של הקיר או בחלקו החיצוני. שיטות וטכנולוגיות בנייה מסוימות יאלצו התקנת בידוד חיצוני בלבד בעוד שיטות וטכנולוגיות אחרות יאלצו להתקין בידוד פנימי.

חומרים בעלי משקל סגולי גבוה (מסה תרמית גבוהה) הם גם בעלי קיבולת חום גבוהה (היכולת לאגור חום או קור). בין קיבולת חום והתנגדות תרמית קיים יחס הפוך – חומר בעל קיבולת חום גבוהה יהיה מבודד גרוע, ואילו חומר בעל יכולת בידודית גבוהה יהיה בד"כ בעל יכולת פחותה לאגירת חום. במערכות מורכבות כמו מבנים, אם כן, דרוש שילוב נכון בין היכולת לאגור חום או קור מהסביבה, לבין היכולת לבודד את הבניין מהשפעות אלו. שילוב נכון של מסה תרמית ושל בידוד תרמי יכול להביא לצמצום בקצב שינוי הטמפרטורה בבניין וליציבות תרמית בחלליו השונים.

בעוד למיקום הבידוד בתוך האלמנט המבני אין השפעה על ערך ההעברה התרמית (ה-U-Value) של האלמנט, למיקום הבידוד יש תפקיד מכריע בכל הנוגע לאגירת החום ולתפקוד הכללי של המעטפת. כיוון שחלקה החיצוני של מעטפת הבניין מושפע מהתנאים התרמיים והאקלימיים בחוץ (תנאים המשתנים בתדירות גבוהה יחסית: הבדלי טמפרטורה וקרינת שמש בין היום והלילה, או הבדלים בין עונות השנה), ככלל, המסה התרמית של הבניין צריכה להיות מבודדת, כלומר עליה לפנות אל פנים הבניין, ואילו על הבידוד לפנות החוצה. במידה והבידוד מותקן בחלקו הפנימי של הקיר, בסביבה בעלת קרינת שמש וטמפרטורה גבוהים כמו בישראל, מסת הבניין תתחמם במהירות. ברגע שמסת הבניין מתחממת – היא תתקרר בקצב איטי מאוד, שכן היא בעלת קיבולת חום גבוהה בד"כ, מה שעלול להביא לחימום לא רצוי של חללי הפנים. מובן שההמלצה לבודד את הבניין בחלקו החיצוני אינה המלצה גורפת, שכן תכנון נכון יכול לנצל את תכונות אגירת החום והבידוד של המעטפת גם בדרכים אחרות.

להלן פירוט תכונותיהם של שיטות הבידוד השונות – בידוד פנימי ובידוד חיצוני:

#### בידוד פנים:

בידוד פנים מותקן בצדו הפנימי של הקיר (מסת הבניין פונה החוצה), על ידי הצבה של לוחות בידוד קשיחים על גבי הקיר, או באמצעות ריפוד החלק הפנימי של הקיר בבידוד מינרלי (כדוגמת צמר זכוכית, בידוד רפלקטיבי או צמר סלעים, למשל) על גבי שלדה.

#### יתרונות הבידוד הפנימי:

- פשוט יותר להתקנה, בעיקר במבנים קיימים.
- בד"כ זול יותר כיוון ששטח הפנים של המשטחים המבודדים – קטן יותר.

#### חסרונות הבידוד הפנימי:

- בבידוד פנימי, כאמור, המסה התרמית של הבניין נתונה להשפעת האקלים בסביבה בה הוא שורר.
- חומרי בידוד רבים מחייבים מיגון מפני אש. כיוון שהבידוד פונה לפנים יחידת הדיור - הבידוד חייב יהיה להיות עמיד ומוגן מפני אש, שכן פוטנציאל הדליקה בתוך יחידת הדיור גבוה יותר מאשר מחוצה לה.

- בידוד פנים עלול להביא להפחתה בשטח הדירה – בעיקר אם מדובר על התקנת בידוד פנימי בבנייה קיימת.
- בידוד פנים מחייב התייחסות נקודתית לגשרים תרמיים.
- בידוד פנים מחייב התייחסות ללחות בשכבת הבידוד – לחות המופקת בתוך יחידת הדיור עוללה לחדור אל תוך שכבת הבידוד ולהביא להתפתחות של עובש ופטריות. בעת ההתקנה יש לדאוג לאוורור ראוי של שכבת הבידוד.
- בידוד פנים מונע שימוש בחימום \ קירור באמצעות מסה תרמית, שכן המסה התרמית מופרדת מהחלל על ידי הבידוד.
- בידוד פנימי מגביר את הרגישות של החלל לשינויים תרמיים לא רצויים, כגון חדירת אויר חם או קר.

#### בידוד חיצוני

בידוד חיצוני מותקן בחלקו החיצוני של הקיר (מסת הבניין פונה פנימה), בד"כ בעת הקמת הבניין.

#### יתרונות הבידוד החיצוני:

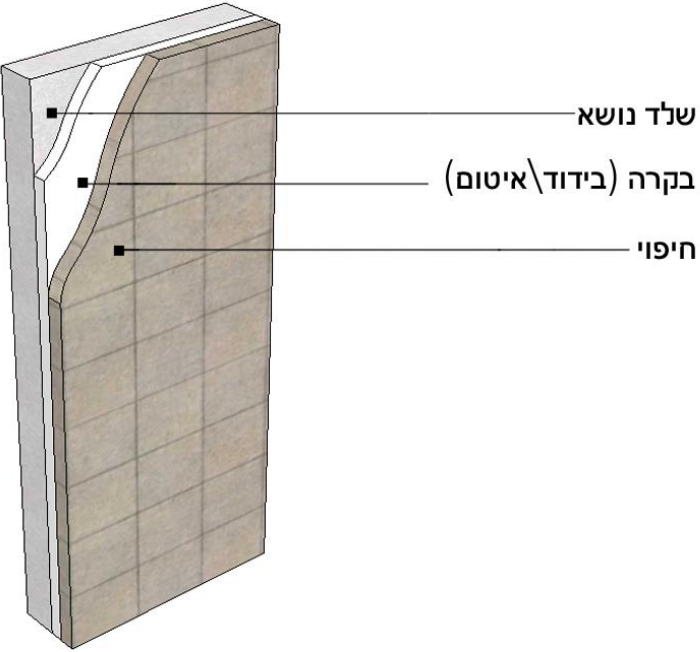
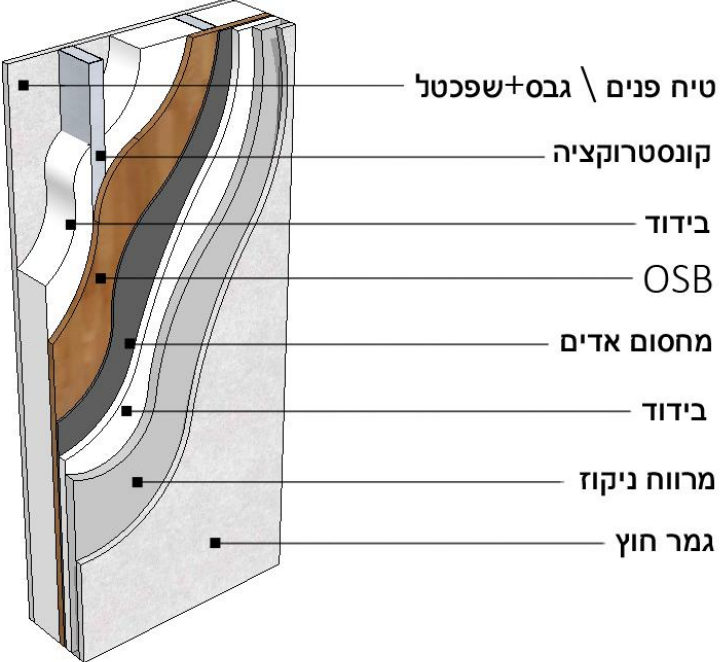
- פתרון בידוד מקיף, כולל טיפול בגשרים תרמיים.
- מבודד את רוב חלקי מעטפת הבניין מהסביבה (מעטפת + חללי פנים).
- אינו גורם להקטנת שטח יחידת הדיור.

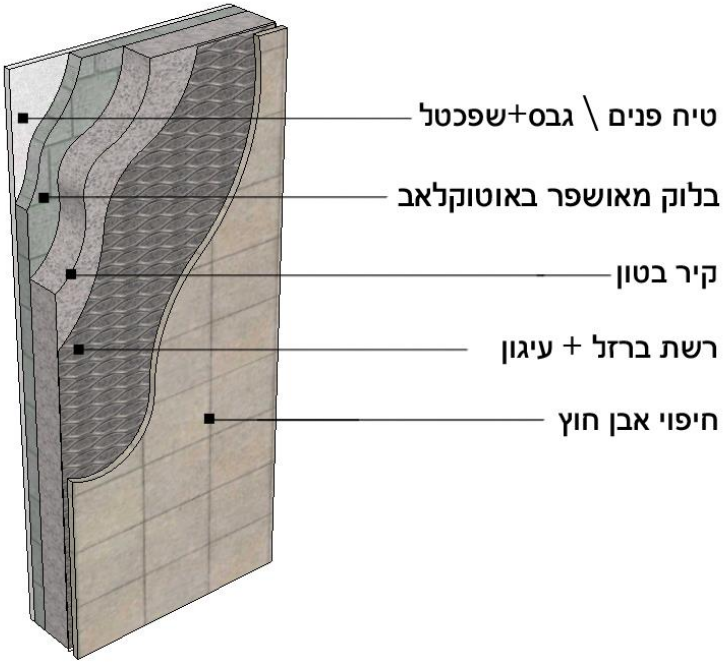
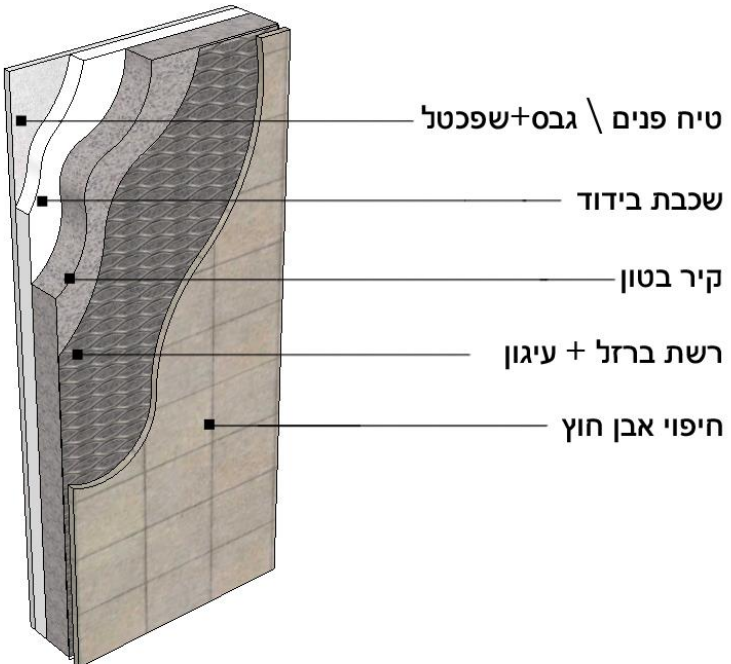
#### חסרונות הבידוד החיצוני:

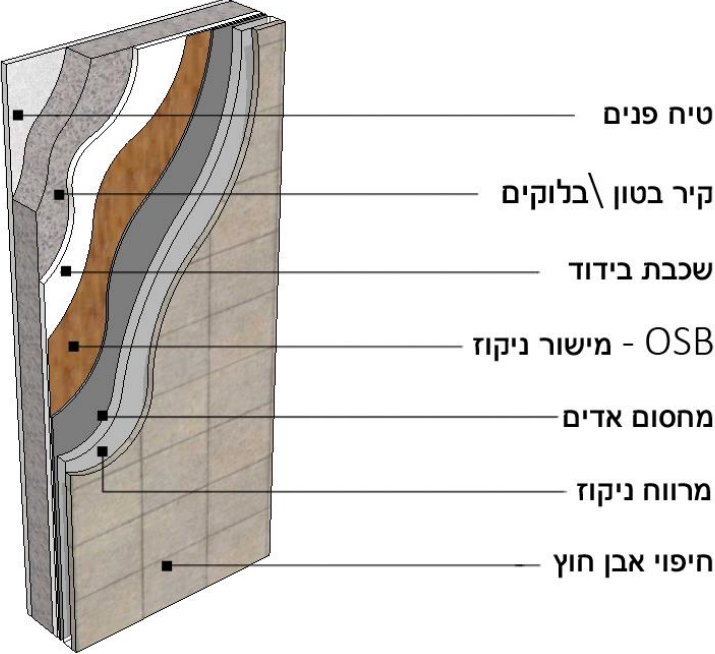
- עלול להיות יקר יותר, שכן שטח הפנים של המעטפת גדול יותר.
- מצריך עבודה רבה יותר מאשר בידוד פנימי, שכן בידוד חיצוני מצריך בד"כ הקמת פיגומים ועבודות חזית שונות.
- מצריך שינוי של חזית הבניין, במידה והבניין קיים.

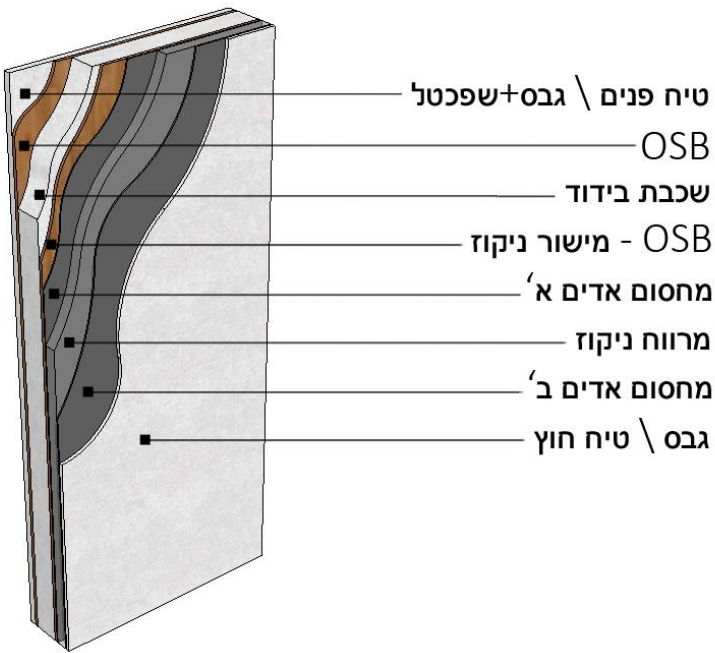
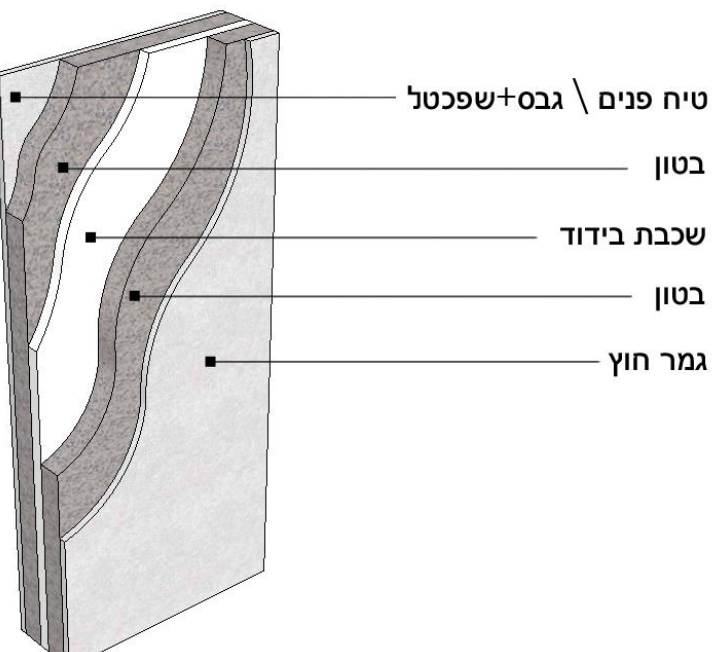
## 2.2 שיטות הבידוד והטכנולוגיות הנמצאות בשימוש בישראל

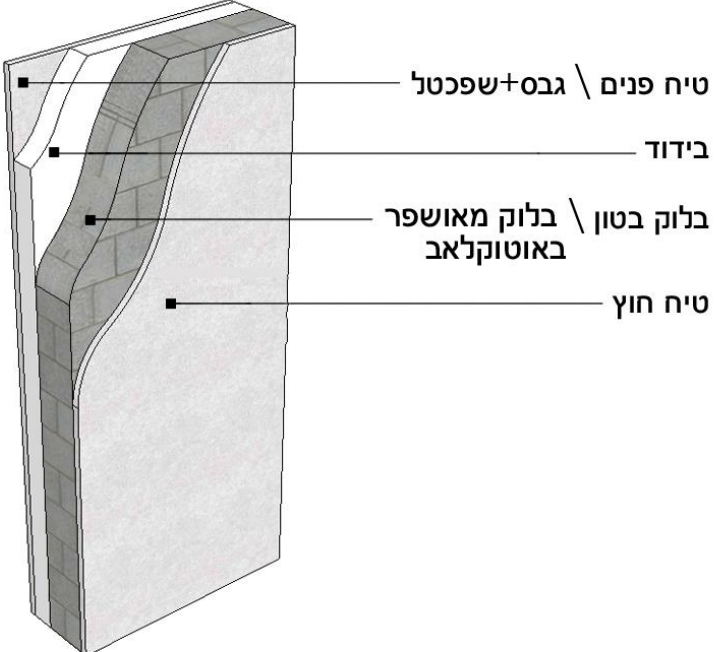
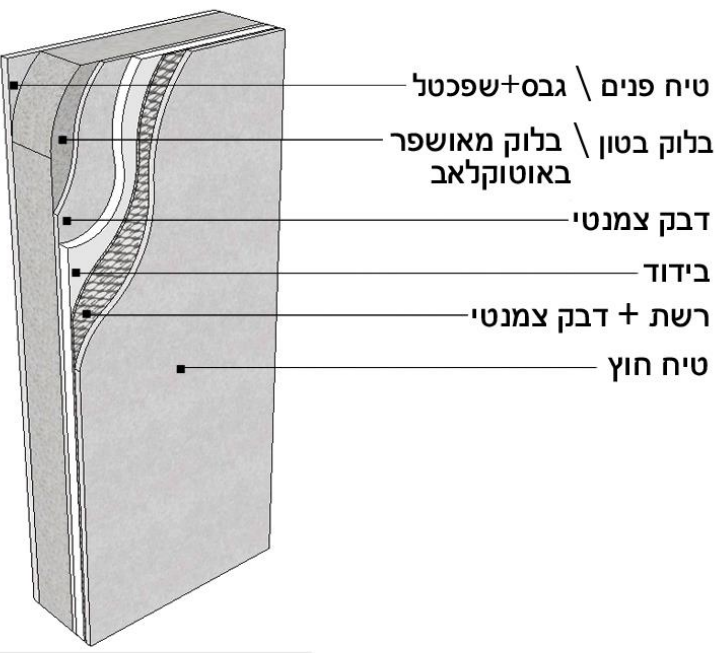
פרק זה מציג חתכי קיר אופייניים עקרוניים לבידוד קירות. לטובת הפשטות והבהירות, בפרק זה מופיעים רק השכבות המרכיבות את הקיר ולא השרטוטים הטכניים המסבירים על אופן הרכבתו, שכן הדגש הושם על שילוב של שכבת בידוד בקיר מעטפת. יש לציין כי אלו חתכי קיר עקרוניים בלבד ולא הדגמת פרטי בניין.

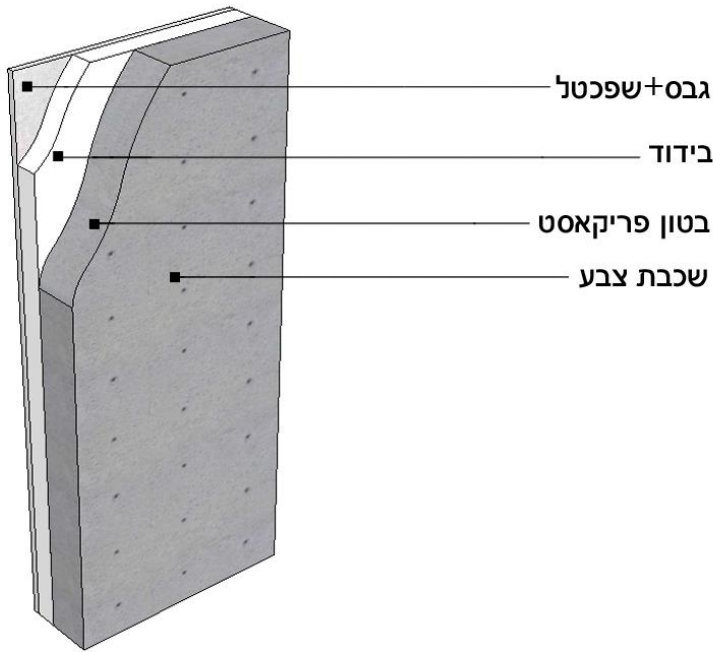
חתך אופייני	שיטת הבנייה
	<p><b>"הקיר האידיאלי"</b> בנוי משלוש שכבות, בסדר הנ"ל (מבפנים כלפי חוץ): שלד נושא (נושא את משקלו של הבניין, בד"כ בעל המסה התרמית בבניין), שכבת בקרה (אשר מגנה על שכבת השלד באמצעות איטום ובידוד) ושכבת חיפוי (משרתת בעיקר צרכים אסטטיים).</p>
	<p><b>קיר מבודד באופן מיטבי</b> מורכב מחלק נושא (הקונסטרוקציה), שכבת בידוד עבה המוטמעת בשכבת השלד בתופסת מערכת של מחסומי אדים, ולבסוף גמר החוץ.</p>

חתך אופייני	שיטת הבנייה
 <p>טיח פנים \ גבס+שפכטל</p> <p>בלוק מאושפר באוטוקלאב</p> <p>קיר בטון</p> <p>רשת ברזל + עיגון</p> <p>חיפוי אבן חוץ</p>	<p><b>שיטת ברנוביץ' א'</b></p> <p>בלוק מאושפר באוטוקלאב לבידוד יציקת הבטון. בשיטה זו הבלוקים מונחים על "מדרגת" בטון, המהווה למעשה גשר תרמי החודר אל תוך הבניין.</p>
 <p>טיח פנים \ גבס+שפכטל</p> <p>שכבת בידוד</p> <p>קיר בטון</p> <p>רשת ברזל + עיגון</p> <p>חיפוי אבן חוץ</p>	<p><b>שיטת ברנוביץ' ב'</b></p> <p>תבנית היציקה כוללת את חיפוי החוץ בצד אחד ואת חומר הבידוד בצד הפנימי. שיטה זו הייתה בשימוש רווח בעבר אך כמעט ואינה נמצאת בשימוש כיום. זאת מכיוון שנמצא שפעולת היציקה עלולה להביא לפגיעה בשכבת הבידוד.</p>

חתך אופייני	שיטת הבינייה
 <p>טיח פנים</p> <p>קיר בטון \ בלוקים</p> <p>שכבת בידוד</p> <p>OSB - מישור ניקוז</p> <p>מחסום אדים</p> <p>מרווח ניקוז</p> <p>חיפוי אבן חוץ</p>	<p><b>חיפוי אבן בשיטה היבשה.</b></p> <p>חיפוי האבן מעוגן לקיר. בין שכבת האבן לקיר מותקן מחסום אדים, וביניהם נותר מרווח ניקוז. הבידוד מותקן מצדו החיצוני של הבניין, על כן על מערכת העיגון לחדור את שכבת הבידוד.</p>
 <p>טיח פנים</p> <p>קיר בטון \ בלוקים</p> <p>שכבת בידוד ואיטום</p> <p>רשת ברזל</p> <p>טיט צמנטי</p> <p>חיפוי אבן חוץ</p>	<p><b>חיפוי אבן בשיטה הרטובה.</b></p> <p>חיפוי האבן מודבק לקיר באמצעות טיט צמנטי המורבץ ע"ג רשת ברזל. בשיטה זו, מוצרי בידוד מסוימים יכולים להיות מותקנים בחלקו החיצוני של הבניין.</p>

חֵתֶךְ אופייני	שיטת הבנייה
 <p>טיח פנים \ גבס+שפכטל</p> <p>OSB</p> <p>שכבת בידוד</p> <p>OSB - מישור ניקוז</p> <p>מחסום אדים א'</p> <p>מרווח ניקוז</p> <p>מחסום אדים ב'</p> <p>גבס \ טיח חוץ</p>	<p><b>קיר אפקטיבי לאזורים חמים ולחים מאוד.</b></p> <p>קיר זה הוא אינו קיר נושא – רוב עוביו הוא בידוד המותקן בין 2 פאנלים קשיחים. לקיר זה יש 2 שכבות של מחסומי אדים וביניהם מרווח ניקוז.</p>
 <p>טיח פנים \ גבס+שפכטל</p> <p>בטון</p> <p>שכבת בידוד</p> <p>בטון</p> <p>גמר חוץ</p>	<p><b>קיר כפול עם בידוד.</b></p> <p>שתי שכבות בטון (או בלוקים, או לבנים) אשר ביניהם נשמר חלל אותו אפשר למלא בבידוד.</p>

חַתֵּךְ אוֹפֵינִי	שיטת הבנייה
 <p>טיח פנים \ גבס+שפכטל</p> <p>בידוד</p> <p>בלוק בטון \ בלוק מאושר באוטוקלאב</p> <p>טיח חוץ</p>	<p><b>התקנת בידוד פנים בקיר קיים.</b> על מנת להוסיף את הבידוד, יש לגרד את שכבת הטיח מעל הקיר, להתקין את הבידוד ולטייח מחדש.</p>
 <p>טיח פנים \ גבס+שפכטל</p> <p>בלוק בטון \ בלוק מאושר באוטוקלאב</p> <p>דבק צמנטי</p> <p>בידוד</p> <p>רשת + דבק צמנטי</p> <p>טיח חוץ</p>	<p><b>התקנת בידוד חוץ בקיר קיים</b></p>



**קיר פריקאסט עם בידוד פנימי.**  
הבידוד יכול להיות מותקן במפעל או באתר.

### 2.3 שיטות בידוד מתקדמות מרחבי העולם

מוצרי הבידוד הסטנדרטיים (פוליאסטרין מוקצף/צמרים למיניהם) הם, באופן יחסי, בעלי ערכי העברה תרמית (U-Value) נמוכים באופן יחסי. ולמרות זאת, שילובם במערכת מבנית מחייב שימוש בחומרי בידוד עבים, כך שהעובי הכולל של האלמנט המבני (קיר/רצפה) – עולה. חומרי בידוד חדשניים מספקים ערכי העברה תרמית נמוכים עוד יותר, מה שמביא לכך ששילובם במבנים יכול להביא לבידוד טוב יותר, להפחתה בעובי האלמנטים המבניים ולצמצום איבוד של שטחים עיקריים.

#### אירוג'ל (AeroGel)



המוצר בעל הצפיפות המרחבית הנמוכה ביותר. הוא נוצר באופן מלאכותי על ידי הסרת הנוזלים המצויים בגלל והחלפתם בגז. לאירוג'ל יש כושר בידודי מעולה, ועל אף שהוא יקר יותר ממוצרי בידוד נפוצים (יקר פי חמישה בפוליאסטרין מוקצף, למשל), מחירו בשנים האחרונות הולך ויורד.

Aerogel Insulation, Aspen  
Aerogels, via CNET.

#### חומרים משני מצב צבירה (PCM – Phase Changing Materials)

הם חומרים אשר בעת התכה או קיפאון משחררים ואוגרים כמות גדולה של אנרגיה. חום משתחרר ונאגר בעת המעבר ממצב צבירה אחד לאחר, כך שהחומרים הנ"ל משמשים כמעין מאגרי חום. חומרים מסוג זה נמצאים בשימוש בסביבה הבנויה כבר מספר שנים. שימוש נכון בהם יכול להביא לאגירת חום (או קור) בקירות המבנים ולייצוב הטמפרטורה בפנים המבנה, כך שצריכת האנרגיה לאקולומו מצטמצמת.





יריעה רפלקטיבית, פולינום אולטרה. מקור: חברת פולינום

### יריעות רפלקטיביות ופאנלים מבודדים ע"י ואקום

כפי שצויין, ואקום הוא המבודד הטוב ביותר - הוא אינו מאפשר מעבר של חום, שכן אין בו חלקיקים שיכולים להעביר (להוליך) את החום. פאנלים אלו מורכבים מיריעה רפלקטיבית אטומה לחלוטין העוטפת אלמנט קשיח ונקבובי המקנה לפאנל את צורתו. לפאנלים אלו ביצועים תרמיים גבוהים, טובים בהרבה מאלו של חומרי בידוד סטנדרטיים.

קרינה, כאמור, היא אחת משלוש הדרכים למעבר חום. היריעה הרפלקטיבית מונעת חימום הנגרם מקרינה, והיא מותקנת לרוב בעליות גג או במקומות החשופים לקרינת השמש. קרינת השמש מחממת את המשטח העליון ביותר בגג (רעפים, למשל). כיוון שגוף שמתחמם פולט קרינה – הרעפים החמים יקרנו לכל כיוון ויחממו את סביבתם. כשתפגע הקרינה הנפלטת מן הרעפים ביריעה הרפלקטיבית, היא תוחזר (אל הרעפים), ותמנע את חימום השכבה שמתחתיה. בידוד מסוג זה קיים גם בישראל.

### 3. בידוד בנייני מגורים בישראל ובעולם; סקירת ספרות

#### 3.1 פוטנציאל החיסכון בבידוד בנייני מגורים

כפי שנסקר בפרק 1, העלייה בצריכת האנרגיה בעולם בעשורים האחרונים הביאה לעלייה במודעות הנוגעת להשלכות הצריכה המוגברת. גידול באוכלוסיית העולם יחד עם צמיחה כלכלית גלובלית (במדינות מתפתחות בעיקר), מוביל למסקנה שצריכת האנרגיה רק תוסיף ותמשיך לגדול<sup>18</sup>. הסכנות הפוטנציאליות הטמונות בצריכת אנרגיה מוגברת נעות בין ניצול מקסימלי של חומרי הדלק, דרך חוסר יציבות באבטחת אספקת אנרגיה ועד התרומה הפוטנציאלית להתחממות הגלובלית<sup>19</sup>.

הסביבה הבנויה אחראית לכ- 40% מכלל צריכת האנרגיה בעולם, ולכ- 24% מסך פליטת גזי החממה<sup>20</sup>. בישראל, כ- 70% מתפוקת החשמל נצרכת במבנים. צריכה זו מהווה כ- 40% מצריכת האנרגיה הראשונית בישראל (Primary Energy)<sup>21</sup>.

תכנון נכון של מבנים, כזה אשר מציב את צמצום הפגיעה בסביבה ואת ההפחתה בצריכת האנרגיה תוך שמירה על סביבה בריאה ונוחה כמטרה, יכול להביא לצמצום ניכר בצריכת אנרגיה בהם. בכדי להשיג את היעדים הנ"ל, על צוות התכנון להכיר ולהשתמש באסטרטגיות תכנון "ירוקות" - אמצעים פאסיביים ואקטיביים היכולים לצמצם את השימוש באנרגיה בכלל ולאקלום בפרט.

אסטרטגיות תכנון לדוגמא:

#### אמצעים פאסיביים:

- הפניית המבנה לאוריינטציה אופטימלית המנצלת את כיווני השמש והרוח
- ארגון החללים באופן שמנצל את משאבי השמש והרוח בצורה מיטבית
- תכנון נכון של מעטפת הבניין (יחס חלון-קיר)
- בידוד מעטפת המבנה (קירות, חלונות, גג ורצפה)
- שימוש נכון באמצעי הצללה

<sup>18</sup> OPEC, 2010. World Oil Outlook, Vienna: OPEC, (ISBN 978-3-9502722-1-5). Available from: [http://www.opec.org/opec\\_web/static\\_files\\_project/media/downloads/publications/WOO\\_2010.pdf](http://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/WOO_2010.pdf) [Accessed 21 July 2014].

<sup>19</sup> PEREZ-LOMBARD, L., Ortiz, J. & POUT, C., 2008. A Review on buildings energy consumption information. Energy and Buildings, 40 (3), 394-398

<sup>20</sup> (International Energy Agency. (2006). Energy Technology Perspectives: Scenarios and Strategies to 2050. Paris

<sup>21</sup> אפס פליטות פחמן בישראל (2013) - ד"ר שחר דולב, נועם סגל, יעל כהן-פארן, גדי רוזנטל, דנה גבאי. הפורום הישראלי לאנרגיה

- איטום המבנה ומניעה של זליגת אוויר ממוזג אל מחוצה לו
- הימנעות מגשרים תרמיים
- תכנון עבור אוורור פאסיבי (אוורור מפולש, אפקט הארובה ועוד)
- קירור וחימום פאסיביים (שימוש במסה תרמית)

#### אמצעים אקטיביים:

- בחירת מערכות מיזוג בעלות יעילות גבוהה
- אוורור מאולץ
- אמצעי הצללה דינאמיים

מבנים, אם כן, הם מערכות מורכבות אשר רמת הביצועים שלהם (Performance) מושפעת מגורמים רבים. המורכבות הרבה של מערכות מבניות מקשה על בחינת תרומתו של אלמנט תכנוני בודד לצמצום צריכת האנרגיה. ולמרות זאת, מחקרים חישוביים מראים כי לבידוד תרומה משמעותית לביצועי מבנים – בידוד אופטימלי במבני מגורים יכול להביא לחסכון של בין 20 ל-77% בצריכת האנרגיה<sup>22 23 24</sup>.

### **3.2 רגולציה ותקינה**

#### **א. סקירת רגולציה ותקינה ישראל**

##### **1. ת"י 1045 – בידוד תרמי של בניינים**

---

<sup>22</sup> Mousa S. Mohsena, Bilal A. Akashb (2001): Some prospects of energy savings in buildings. Energy Conversion and Management. Volume 42, Issue 11, July 2001, Pages 1307–1315.

<sup>23</sup> Dombayci, Ö. A. 2007 The environmental impact of optimum insulation thickness for external walls of buildings, Building and Environment 42 (2007) pp. 3855-3859.

<sup>24</sup> C.A Balaras, K Droutsas, A.A Argiriou, D.N Asimakopoulos (2000): Potential for energy conservation in apartment buildings. Energy and Buildings. Volume 31, Issue 2, February 2000, Pages 143–154

תקן ישראלי (ת"י) 1045 נכתב לראשונה בסוף שנות ה-70, בין השאר בעקבות משבר האנרגיה העולמי<sup>25</sup> אשר פרץ בתחילת העשור. התקן מתעדכן מדי מספר שנים, והגרסה הנמצאת בשימוש כיום נכתבה ב-2011. מטרת התקן היא לפרט דרישות מינימאליות לבידוד תרמי לבניינים על פי ייעודם על מנת להשיג תנאי נוחות בסיסיים ולמנוע עיבוי על גבי מעטפת הבניין. התחומים אותם מגדיר התקן כוללים תיאור התכונות התרמיות של חומרי בנייה שונים, שיטות לחישוב התנגדות תרמית, סקירת ערכי התנגדות תרמית אופיינית לסוגי מעטפות בניין שונות ועוד.



התקן מחולק ל-7 חלקים: בחלקים 1 עד 5 מגדיר התקן דרישות מינימאליות לסוגי בניינים שונים (מגורים, מוסדות חינוך, משרדים בתי מלון ובתי חולים). חלק 0 הוא חלק כללי\מבוא, ואילו חלק 10 מסווג ישובים על פי אזור האקלים בהם הם נמצאים. לחלק זה (חלק 10) השפעה גדולה, שכן מוגדרת בו חלוקה של ישראל לפי 4 אזורים אקלים. תקנים ומדריכים ישראליים רבים מתייחסים לחלוקה הנ"ל ומתבססים עליה, ועל כן חשיבותה הרבה. ת"י 1045 מכיר בהבדלי האקלים בין האזורים השונים בישראל ומתייחס לכל אחד מהם באופן ספציפי.

אזורי האקלים כפי שמפורטים בת"י 1045:

אזור א' – רצועת החוף.

אזור ב' – מישור החוף והשפלה, הנגב (למעט הר הנגב), העמקים

הצפוניים ומקומות נוספים

אזור ג' – אזור ההר

אזור ד' – אזור בקעת הירדן והערבה.

תרשים 4: אזורים אקלים בישראל.

מקור: המדריך לבנייה אקלימית בישראל

## 2. ת"י 5280 – אנרגיה בבניינים

בעוד ת"י 1045 נוגע לבידוד מעטפת הבניין בלבד, ת"י 5280 מגדיר דרישות מינימאליות לתפקוד אנרגטי כולל של בניינים בישראל. ת"י 5280 מתייחס להיבטים מגוונים הנוגעים לתפקוד אנרגטי בבניינים, ביניהם: תפקוד אופטימלי של מעטפות המבנים, מערכות הזיגוג והצללות, איטום, אורור טבעי, תאורה ועוד.

לת"י 5280 מספר חלקים: חלקים 1.1 ו-1.2 מתייחסים למבני מגורים ולמבני משרדים, בהתאמה. חלק 2 מתייחס למערכות תאורה, חלק 3 למערכות אקלום וחלק 4 מתייחס למערכות חימום מים, חשמל, משאבות ומעליות.

ת"י 5280 מגדיר שתי שיטות לחישוב רמת הביצועים האנרגטיים של הבניין: השיטה המרשמית והשיטה התפקודית. השיטה המרשמית מתייחסת לאיכויות התרמיות של המרכיבים השונים במעטפת הבניין על מנת להבטיח רמת תפקוד מינימלית. השיטה התפקודית, לעומת זאת, היא שיטה השוואתית. בשיטה זו יש להשוות

<sup>25</sup>בנייה ירוקה - חסכון באנרגיה, נגה שראל, <http://www.civileng.co.il>, כניסה ביולי 2014.

בין תפקוד הדירה המתוכננת לבין תפקודה של "דירת ייחוס" – יחידת דיור תיאורטית בת 100 מ"ר ובעלת תכונות ספציפיות המפורטות בתקן. חישוב רמת הביצועים האנרגטיים בשיטה התפקודית נעשה על ידי שימוש באחת מהתוכנות המורשות למידול תרמי (כפי שמפורט בת"י 5282 חלק 1 או בתקן האירופאי EN 15265).

### 3. ת"י 5282 – דירוג בניינים לפי צריכת אנרגיה

מטרתו של ת"י 5282 הוא עידוד שימור אנרגיה במשק הישראלי. מטבע הדברים, מתייחס התקן לשימור אנרגיה בסביבה הבנויה. ת"י 5282 מגדיר שיטה לדירוג בניינים לפי צריכת האנרגיה בהם לצורך אקלום. לרמת הביצועים של הבניין מוענק ציון. הציון מתרגם לדירוג על פי המפתח הבא:

דרגה	כינוי הדרגה	ציון
+A	יהלום	5
A	פלטינה	4
B	זהב	3
C	כסף	2
D	ארד	1
E	דרגת בסיס	0
F	לא עומד בדרגת בסיס	-1

ע"י מתן נקודות רלוונטיות, מנסה התקן לעודד שימוש באמצעים המסוגלים להביא לחיסכון בצריכת אנרגיה ולרוב אינם נמצאים בשימוש – התקנת חלונות בעלות זיגוג כפול, שימוש בהצללות ועוד.

בשלב זה מורכב התקן משני חלקים: ת"י 5282 חלק 1 מתייחס לבנייני מגורים, ואילו ת"י 5282 חלק 2 מתייחס למבני משרדים. גם בתקן זה ניתן לחשב את דירוג ביצועי הבניין על ידי שתי שיטות המוזכרות – השיטה המרשמית והשיטה התפקודית, בהתבסס על ת"י 5280.

בידוד הוא מרכיב חשוב ומרכזי הן ב- 5280 והן ב- 5282: ככל שמעטפת יחידת הדיור תהיה מבודדת יותר, כך יהיו הביצועים האנרגטיים שלה טובים יותר, הן לפי חישוב בשיטה המרשמית והן לפי חישוב בשיטה התפקודית.

### ב. סקירת רגולציה ותקינה בעולם

פרק זה סוקר רגולציות ותקנים הנוגעים לבידוד מבנים בעולם, ומתמקד במקרים מהם ניתן ללמוד לקחים וליישם בשוק הישראלי.

#### ניו-זילנד

ניו-זילנד היא אחת המדינות החלוצות בכל הנוגע לתקינה של בידוד מבנים – מדריכים לבידוד מבני מגורים פורסמו בניו-זילנד עוד בשנות ה-50, וכבר ב-1978 נכתבו בה תקנות מחייבות לבידוד. מאז ועד היום עברו התקנות שינויים ועדכונים (בשנים 1992, 2000 ו- 2007) ואוגדו תחת קובץ התקנים - NZBC Clause

H1/AS1<sup>26</sup>. כיום מאוגדות התקנות בחוק התכנון והבנייה – The Building Act, 2004<sup>27</sup>. התקן הנוכחי עודכן באוקטובר 2007 ויושם בשלבים – באזורי האקלים השונים במדינה – עד לכדי יישום מלא בספטמבר 2008. מטרתו של התקן היא להביא לכך שכל בתי המגורים במדינת האיים יהיו בעלי זיגוג כפול ובעלי בידוד איכותי של מעטפת הבניין.

בבסיסו של התקן טבלה המפרטת ערכי ה-R-Value המינימאליים לכל מרכיב במעטפת הבניין (זיגוג, קירות, גגות וכו') באזורי האקלים השונים, כאשר בידוד כבד יותר נדרש באזורי אקלים קרים.

חידוש חשוב עליו החליטה ממשלת ניו-זילנד בהשקת התקן האחרונה הוא ההנגשה לציבור מתוך הבנה כי על מנת לעודד את הציבור להשתמש בתקן יש לספק הסברים פשוטים וכלים ברורים ופשוטים לשימוש. על כן הפיק משרד הבינוי והשיכון הניו-זילנדי מדריך פשוט ונגיש אשר מסביר על נחיצות הבידוד במבני מגורים, מתאר את השינויים מהתקנות הקודמות ומפרט את טבלת ערכי ה-R-Value<sup>28</sup> באזורי האקלים השונים. על מנת להקל על המשתמשים לחשב את יכולת הבידוד של המרכיבים השונים בבניין, מפנה התקן את המשתמשים לאחד משלושה מחשבונים, אשר אחד מהם ניתן לשימוש בחינם.

את תקציר המדריך ניתן למצוא ב- <http://www.dbh.govt.nz/quick-energy-guide>.

## צ'ילה

צ'ילה הייתה הראשונה מבין מדינות דרום אמריקה לחייב תקנות לבידוד מבני מגורים כחלק מתקנות הבנייה בתחומה (Article 4.1.10 of the OGUC – General Ordinance of Urbanism and Buildings). בשנת 2000 שולבו לראשונה בתקן הצ'יליאני ערכי U-Value מקסימאליים לבידוד גגות לפי חלוקה ל-7 אזורי אקלים. ב-2007 הורחב התקן, ומאז הוא מכיל ערכים מקסימאליים גם לקירות, רצפות וחלונות<sup>29</sup>. התקן מתייחס לאזורי האקלים השונים ומפרט ערכי בידוד שונים לכל אזור.

תהליך היישום של התקנות הנ"ל צפוי להוביל לשינויים בשיטות הבנייה הרווחות במדינה, ובעיקר בשוק הבנייה למגורים, אשר בו בטון משמש בד"כ כחומר הבנייה העיקרי במעטפת הבניין<sup>30</sup>. על מנת לעמוד בדרישות התקן נאלצים המתכננים והקבלנים להוסיף בידוד משמעותי למעטפת העשויה בטון<sup>31</sup>. על כן, באופן מפתיע, השוק החל לאמץ שיטת בנייה בלבנים שכן באזורי אקלים מסוימים יכולת הבידוד של לבנים לבדם עונה על דרישות התקן, ובאזור אקלים אחרים השימוש בהם מפחית את המאמץ הדרוש על מנת להגיע לרמות הבידוד הנדרשות.

<sup>26</sup> Thermal insulation By Nigel Isaacs, BRANZ Principal Scientist BUILD October/November 2007 p.111

<sup>27</sup> Compliance Document for New Zealand Building Code Clause H1 Energy Efficiency – Third Edition Prepared by the Department of Building and Housing

<sup>28</sup> YOUR GUIDE TO SMARTER INSULATION, Published in October 2007 by Department of Building and Housing, PO Box 10-729, Wellington, New Zealand

<sup>29</sup> MINVU, 2006. Manual de Aplicación Reglamentación Térmica

<sup>30</sup> INE, 2002. Censo de Población y Vivienda 2002.

<sup>31</sup> Encinas, F., De Herde, A., et al., 2009. Thermal Comfort and market niches for apartment buildings: Impact of the current Thermal Regulation in the private real estate market in Santiago de Chile. ACE: Architecture, City and Environment., 4(11), pp.45–58

## בלגיה

חוק התכנון והבנייה הבלגי עבר בשנים האחרונות מהפכה של ממש לאחר שבחלקים נרחבים בבלגיה אומצו תקנות מחמירות לבידוד מבנים באופן גורף למדי. חוקי הבינוי בבלגיה הם חוקים אזוריים. משמעות הדבר היא שהממשל המקומי באזורים השונים יכול להתקין תקנות בינוי באופן עצמאי. הממשל המקומי בבריסל, למשל, החליט ליישם החל מ-2008 את ה- EPB regulations (Energy Performance of Buildings) – התקן המחייב למבני מגורים. התקן חל על כל בניין בעל אמצעי חימום/קירור אשר מצריך אישור בנייה (כל מבנה חדש או כל מבנה המיועד לשיפוץ מקיף הלכה למעשה).

בדומה לתקנים הקודמים שנסקרו, גם התקן הבלגי מפרט רשימת U-Values מקסימאליים למרכיבי הבניין השונים וכן מוליכות תרמית ממוצעת לבניין כולו. גם בבלגיה ישנו דגש כבד על נגישות לציבור במונחים פשוטים וברורים (האתר הרשמי שמסביר על התקן, למשל, מצהיר כי ערכי ה-U-Value המקסימאליים יצריכו לא יותר מכ-15 ס"מ של צמר זכוכית או כ-12 ס"מ של פוליסטירן).

לתקן הבלגי ישנם שלושה חידושים: ראשית, התקן מגדיר את מנגנון התכנון והפיקוח על יישום ההנחיות: התקן מחייב את ראש צוות התכנון – האדריכל – להחליט איזו רמת בידוד תעמוד בתקנים, ובמידה ואין ביכולתו של האדריכל לספק את החישובים הדרושים – עליו למנות יועץ EPB מוסמך אשר יוכל לוודא שהתכנון עומד בתקנות כראוי.

חידוש נוסף של התקן הבלגי הוא הצגת ה-"E-Value" והכנת שוק הבנייה לקראת הצגתו של תקן חדש. ה-"E-Value" הוא ערך המכמת את צריכת האנרגיה הכוללת במגורים (כולל תאורה, חימום, חימום מים וכו'). בניין בעל יכולת בידודית גרועה לא יוכל לעמוד בערך ה-E-Value ועל כן הוא צפוי להיתקל בקשיים בעת בקשה להיתר בנייה. ה-E-Value מוצג כהכנה לתקן חדש ומחמיר הרבה יותר אשר יושק ככל הנראה ב-2015. התקן החדש יחייב כל מבנה חדש לעמוד בתקן ה-Passive House המחמיר. התקן החדש יחייב שימוש בבידוד איכותי. על מנת להכין את הציבור לתקנות החדשות, מנסה הממשל בבריסל לעודד את הציבור להשתמש בבידוד כבד יותר על ידי מתן מענקים וסובסידיות.

לבסוף, החל מ-2011 חלה חובה על כל מבנה למכירה או להשכרה בבריסל לפרסם את תעודת ה-EPB שלו – תעודה המציגה את החוזקות והחולשות של המבנה בכל הנוגע לצריכת האנרגיה שלו בכלל ולמצב הבידוד בנכס בפרט<sup>32</sup>.

שילוב שלוש הנקודות הנ"ל יכול להביא לשינוי קיצוני (ואף לטלטלה של ממש) בשוק הבנייה המקומי, הן מבחינת השימוש בבידוד והן מבחינת הכשרת כח-אדם למטלות השונות, ואכן, ישנה ביקורת כנגד קבלי ההחלטות על כך שצוותי התכנון לא עברו הכשרה מספקת לאור השינויים הצפויים בתקנות.

## תורכיה

<sup>32</sup><http://www.energuide.be/en/questions-answers/what-are-the-legal-obligations-with-regard-to-thermal-insulation/82>

תקן הבידוד התורכי TS 825 נכתב ע"י מכון התקנים התורכי בשנת 1999. התקן קובע כי החל משנת 2000 חלה חובה לבודד כל מבנה חדש או כל מבנה העובר שיפוץ של למעלה מ- 15% משטחו. תקן הבידוד עודכן מספר פעמים - ב-2002, 2008 ו-2010), והוא מהווה כעת חלק בלתי נפרד מתקנות ה-BEP (Building Energy Performance Regulations) – קובץ תקנות המתייחס לאספקטים שונים הנוגעים ליעילות אנרגטית במבנים (בידוד, חימום מרכזי, אנרגיות מתחדשות, תחזוקה ועוד), וכן מחוק היעילות האנרגטית (Energy Efficiency Law)<sup>33</sup>.

בדצמבר 2009 הוצג לראשונה קונספט "תעודת הזהות האנרגטית" (Energy Identity Certificate – Energy ID), אשר הציע שכל מבנה בעל למעלה מ-1000 מ"ר – חדש או ישן – יעמוד בתקני הבידוד, והחל מ-2011 הוא הפך לתקן מחייב. מבנים אשר אינם עומדים בדרישות המצוינות בתקן – אינם מקבלים רישיון בנייה. בנוסף לכך, מחייב התקן את כל המבנים במדינה להצטייד בבידוד ולהחזיק בתעודת זהות אנרגטית עד שנת 2017<sup>34</sup> – דרישה שאפתנית למדי.

אף על פי שדרישות התקן החדשות הביאו לעלייה גדולה במודעות ליתרונות הבידוד ולשימוש בו, אחוז המבנים העומדים בתקנות הוא נמוך יחסית, וזאת לאור הרף הגבוה שהציב התקן, ובשל היעדר תכנית פרגמטית ליישום. על אף התעוררות השוק, היעדר בדיקה ובקרה הוביל לכך שבמובנים מסוימים התקן כלל אינו מיושם.

### 3.3 היקף היישום בפועל בעולם

פרק זה סוקר את היקף התקנת הבידוד בעולם – היקף השימוש בבידוד, גודלם של השווקים השונים וסוגי הבידוד הנמצאים בשימוש.

#### כללי

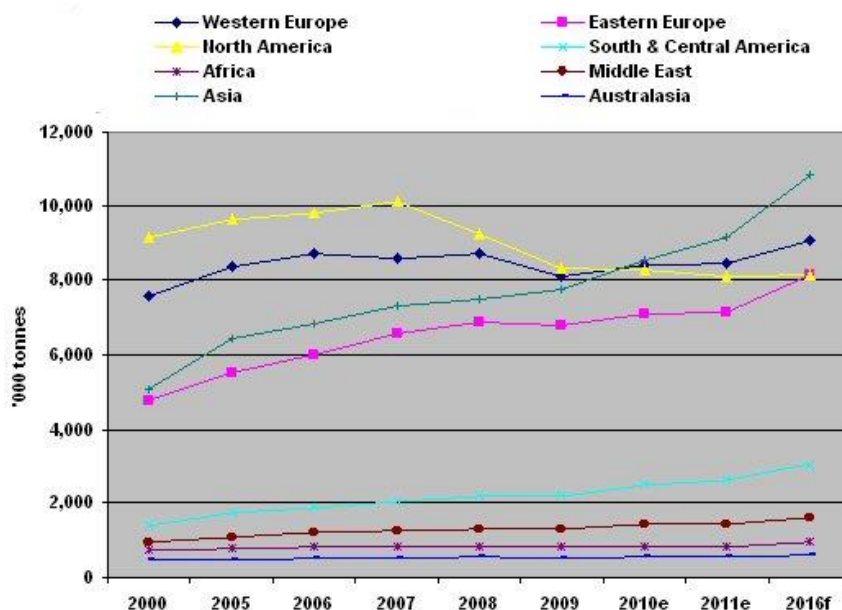
מחקר שנערך ע"י חברת הייעוץ Smithers Apex אשר סוקר את שוק הבידוד העולמי מצא כי לאחר קיפאון של שנתיים ב-2008 ו-2009, היקף עסקאות הבידוד בעולם גדל בכ- 5% ב-2010. המחקר צופה עליה של כ- 2.7% בשנה בהיקף המכירות עד שנת 2018. לפי המחקר, אסיה, מערב אירופה וצפון אמריקה אחראיות לכ- 65% מצריכת הבידוד העולמית (כ- 22% מנתח השוק לכל אחת). ארה"ב היא המדינה בעלת הצריכה הגבוהה ביותר – כ- 19% מסך צריכת מוצרי הבידוד בעולם נכון ל-2010.

<sup>33</sup> THE INSULATION MARKET TURKEY Opportunity Date 6 December 2013, Embassy of the Kingdom of the Netherlands - Ankara – Economic and Commercial Section

<sup>34</sup> <http://www.iea.org/policiesandmeasures/pams/turkey/name,21358,en.php>



חומרים שונים משמשים לבידוד מבנים במקומות שונים בעולם. צמר זכוכית הוא המבודד הנפוץ ביותר, אולם צמר סלעים ומוצרי פוליסטירן נמצאים בשימוש נרחב יחסית גם הם. הדו"ח צופה גידול בביקוש לצמר סלעים ולמוצרי פוליסטירן עד שנת 2016, אך גם לחומרים חדשים כגון אירוג'ל, צמר כבשים ופיתוחי פוליסטירן חדשים.



תרשים 5:

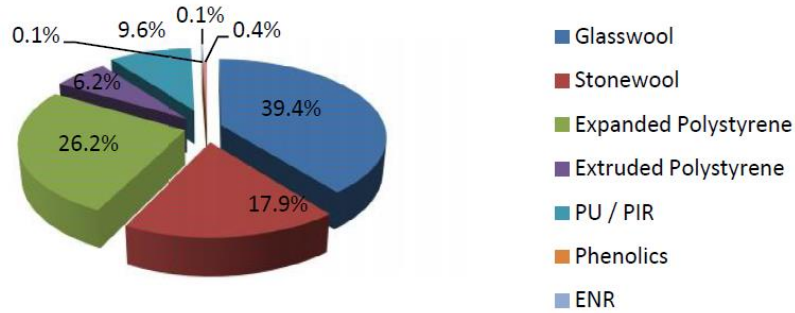
צריכת חומרי בידוד לפי אזורים, היסטוריה ותחזית, 2000 – 2016 (באלפי טונות).<sup>35</sup>

## אירופה

מחקר שנערך בבריטניה ע"י קבוצת IAL Consultants סוקר את שוק מוצרי הבידוד ב-27 מדינות באירופה. הסקירה מראה כי ב-2012 היקף העסקאות בשוק האירופאי עמד על כ-9.6 מיליארד יורו, וצופה כי עד 2017 היקפם יעלה לכדי 10.57 מיליארד.

חומרי הבידוד הנפוצים באירופה הם צמר זכוכית (כ-40% מחומרי הבידוד) וצמר סלעים (כ-18%). מוצרי הפוליסטירן לעומת זאת – EPS ו-XPS – חולשים על כ-26% ו-6% מהשוק בהתאמה. המשבר הכלכלי של 2008 הביא להאטה בשוק הבניה באירופה ולדרישה של מוצרי בידוד, אשר במדינות רבות הגיע להקפאה מוחלטת. בשנים שלאחר מכן, יציאה איטית מהמשבר בשילוב עם חקיקה ויישום של תכניות לשיפור הביצועים התרמיים של מבנים הביאה להתאוששות ולצמיחה מהירה של השוק, בעיקר הודות לתכניות לעידוד שיפוץ ושימוש מחדש במבנים קיימים.

<sup>35</sup> Sustainable Insulation to see High Growth in Emerging Markets: מקור: <https://www.smitherspira.com/market-reports/sustainable-insulation-to-see-high-growth-in-emerging-markets.aspx>



תרשים 6: שוק הבידוד האירופאי – 2012 אחוזים של מטר<sup>3</sup> צריכת בידוד

מקור: IAL Consultants

ב-2012 התייצב שוק הבידוד האירופאי. במערב אירופה, תחזיות הגידול אינן צפויות לעלות אל מעבר ל-1.4% בשנה, שכן כלכלות כגון ספרד ופורטוגל עדיין מתאוששות מתוצאות המשבר. בנורבגיה, לעומת זאת, חל גידול חד בביקוש לבידוד הודות לתקנות בידוד מבני מגורים שנכנסו לתוקפן ב-2010. תקנות נוספות לשימור אנרגיה צפויות להיכנס לתוקף בשנים הקרובות, כך שהשוק צפוי להמשיך ולגדול.

גרמניה היא עדיין המדינה המובילה באירופה בכל הנוגע לשימור אנרגיה במבנים ולצריכת מוצרי בידוד. גם במזרח אירופה חל גידול בביקוש לבידוד, אולם בקצב איטי יותר מזה שבמערב. רוסיה, פולין ותורכיה הן המובילות בביקוש במזרח. יש לציין כי קריטי להיזהר בהשוואת המצב בארץ עם המצב באירופה, בעיקר עם אמצעות קרות בהן השפעת הבידוד על צריכת האנרגיה לחימום משמעותית מאוד.

#### תורכיה

מחקר שנערך ע"י משרד החוץ ההולנדי<sup>36</sup> סוקר את מצב שוק הבידוד בתורכיה. המחקר מצא כי בידוד הוא אחד השווקים בעלי קצב הגידול הגבוה ביותר במדינה, עם גידול שנתי של כ-25-30% ב-2011. מחזור העסקאות צמח מכ-300 מיליון יורו ב-2004 לכ-4 מיליארד יורו ב-2012. כיום ישנן כ-200 חברות המעורבות בשוק הבידוד בתורכיה, והן מעסיקות כ-80,000 עובדים. בנוסף לאלו, ישנם כ-20 יבואנים של חומרי בידוד מרחבי העולם. המחקר מצביע על כך שכ-65% מהשוק נשלט ע"י פוליטיירן ומוצרי (EPS, XPS), ואילו השאר ע"י צמר סלעים (20%), צמר זכוכית (10%) וחומרי בידוד נוספים.

נכון ל-2013, ישנם כ-19 מיליון בתים בתורכיה, 85% מהם אינם מבודדים. המניע העיקרי לצמיחת שוק הבידוד התורכי היה יישום החקיקה החדשה אשר הציבה רף גבוה לבידוד מבנים (כאמור, החל משנת 2000 חלה חובה לבודד כל מבנה חדש, וזאת מתוך כוונה שעד 2017 כל המבנים בתורכיה יהיו מבודדים).

הערכות מדברות על כך שאיבודי אנרגיה שנתיים עקב שימוש באנרגיה במבנים לא מבודדים עולים כ-10 מיליארד דולר לכלכלה התורכית. כ-34% אחוזים מכלל האנרגיה בתורכיה נצרכת במבנים, וכ-80% מהאנרגיה הזו מופנית לחימום ולקירור. כיוון ששוק האנרגיה התורכי מתבסס בעיקר על ייבוא (כ-71%), השקעה בבידוד מבנים נתפסת כהקטנת התלות במדינות בעלות יכולת לספק אנרגיה.

<sup>36</sup> THE INSULATION MARKET TURKEY Opportunity Date 6 December 2013, Embassy of the Kingdom of the Netherlands - Ankara – Economic and Commercial Section

המגבלות העיקריות של שוק הבידוד התורכי הן ייצור של מוצרי בידוד לא איכותיים, כח עבודה לא מיומן, ריכוזיות יתר והיעדר בקרה.

### 3.4 תכניות להרחבת הטמעת בידוד בעולם

בכדי להביא לייעול הביצועים האנרגטיים במבני מגורים, וכדי לעורר את שוק הבידוד וליצור מקומות עבודה חדשים, פורסמו במספר מדינות תכניות המעודדות את הציבור לשפר באופן פעיל את מעטפת מבני המגורים שלהם בכלל, ואת בידודם בפרט.

#### אנגליה – The Green Deal

בבריטניה, הממשלה התחייבה להפחית עד שנת 2050 לפחות 80% מפליטת הפחמן הדו חמצני שנרשמה בממלכה בשנת 1990. כתוצאה מכך, חוק התכנון והבנייה האנגלי (Part L of the UK building regulations Conservation of fuel and power) - מחייב עמידה בביצועים אנרגטיים מחמירים למדי. על מנת לעמוד בדרישות החוק, ביצעו האנרגטיים של בניין מתוכנן צריכים להיות טובים מביצועיו של "מבנה ייחוס" – מבנה בעל נתונים המוגדרים בקובץ התקנות.

תכונותיו של מבנה הייחוס מתעדכנות מדי מספר שנים (העדכון האחרון נערך ב- 2012), והתקנות נעשות מחמירות יותר ויותר. על מנת לעמוד בדרישות החוק – מחוייבים, למעשה, המתכננים להשתמש בבידוד בנוסף לתקנות המחייבות, שאף המחוקק הבריטי לעודד בידוד של מבנים קיימים, מתוך ראייה בערך הטמון בחיסכון אנרגיה בהם. לשם כך, ייזם הממשל את ה"Green Deal".

ה-"Green Deal" היא תכנית ממשלתית אשר נכתבה ע"י המחלקה לאנרגיה ושינוי אקלים הבריטי (UK Department of Energy and Climate Change – DECC) והושקה ב- 2013. מטרתה העיקרית של ה-"Green Deal" היא הפחתת שימוש באנרגיה בבתי מגורים קיימים בבריטניה<sup>37</sup>. התכנית היא אינה תכנית מחייבת – היא מנסה לעודד שיפוץ מבנים וייעול אנרגטי באמצעות תמריצים כלכליים.

ה-"Green Deal" מייצרת פלטפורמה לשיתוף פעולה בין בעלי האינטרסים השונים היכולים להרוויח מצמצום צריכת אנרגיה: בעל נכס, ספק האנרגיה והמדינה. בבסיס התכנית עומדת הלואה הניתנת לבעל נכס המעוניין לשפץ ולבודד את ביתו. ההלוואה ניתנת ע"י "ספק Green Deal" – גוף מוסמך להלוואת כספים בתכנית. רוב ספקי ה-"Green Deal" הם ספקי האנרגיה (המקבילים לחברת החשמל בישראל) או בנקים מקומיים. לאחר שיפוץ המבנה ושיפור היעילות האנרגטית שלו מוחזרת ההלוואה באמצעות החיסכון בהוצאות על צריכת אנרגיה בנכס.

על מנת לוודא כי החיסכון עקב השיפוץ יהיה גדול מההוצאות עליו (יחס הנקרא "כלל הזהב") – בדיקת היתכנות מתבצעת על ידי מעריך מוסמך מטעם המדינה. בין השאר, מחשב המעריך המוסמך את מספר השנים הנדרשות בכדי להחזיר את ההשקעה בשיפוץ, ומוודא שהן לא יהיו מעבר ל-25 שנה.

<sup>37</sup> GOV.UK - Green Deal: energy saving for your home or business, 2014 Available from: <https://www.gov.uk/green-deal-energy-saving-measures>

התכנית, כאמור, מערבת שלושה גורמים, כולם מרוויחים פוטנציאליים מהשתתפות בה:  
א. בעל הנכס – מקבל נכס משופץ, מבודד ויעיל אנרגטית. מלבד העלאת ערך הנכס עקב השיפוץ, לאחר החזר ההלוואה – ההכנסות עקב החיסכון בצריכת האנרגיה נשארות ברשותו.  
ב. ספק האנרגיה (המלווה) – מבטיח הכנסה קבועה למספר שנים – החזרי ההלוואה בתוספת הריבית.  
ג. המדינה – מקבלת מצבור של נכסים בעלי יעילות אנרגטית גבוהה וסביבת מגורים בריאה. בנוסף לכך, התכנית מייצרת מקומות עבודה – מעריכי ה - Green Deal, תעשיית הבידוד ופועלי הבניין.

על אף השאיפות הגדולות וההיגיון הכלכלי העומדים בבסיסה, נכון לינואר 2014 רק 1,612 יחידות דיור השלימו שיפוץ במסגרת התכנית<sup>38</sup>. התכנית נמצאת תחת ביקורת תמידית בתקשורת הבריטית, הטוענת כנגד התכנית בעיקר את הטענות הבאות:

- א. גובה הריבית – הריבית השנתית על ההלוואה גבוהה מאוד – בין 7.9 ל- 10.3%. גובה הריבית מרתיע בעלי נכסים פוטנציאליים מלהשתתף בה<sup>39</sup>.
- ב. הצמדת ההלוואה לנכס – ההלוואה לשיפוץ נרשמת לחובת הנכס, ולא לחובת הדייר או הבעלים. כך קורה שקונה פוטנציאלי של נכס שעבר שיפוץ במסגרת התכנית קונה למעשה גם חוב, לעיתים ל-25 שנה – חוב אשר מעולם לא לקח על עצמו. עובדה זו מרתיעה גם היא בעלי נכסים אשר מתכוונים למכור את נכסיהם בעתיד.
- ג. החזר על ההלוואה נגבה באופן אוטומטי באמצעות חשבונות האנרגיה, וזאת מבלי להתחשב ברמת החיסכון האמיתית. כלומר, גם אם למעשה אין כל ירידה בצריכת האנרגיה – חייב בעל הנכס להחזיר את ההלוואה שנלקחה לטובת השיפוץ. נתון זה בעייתי במיוחד, בפרט לאור העובדה שההכשרה של המעריך המוסמך עורכת ימים בודדים בלבד וכן כיוון שהתכנית אינה לוקחת בחשבון את המגבלות בקביעת "כלל הזהב" – החישובים כלליים יחסית ואינם לוקחות בחשבון תופעות כגון "אפקט הריבאונד" בעת חישוביהן.

## אוסטרליה -

ה- Energy Efficient Homes Package הייתה תכנית אוסטרלית אשר הושקה בפברואר 2009 במטרה להביא לחיסכון בצריכת האנרגיה במבנים למגורים. התכנית הורכבה משני חלקים:

- א. תכנית לבידוד בתים
- ב. עידוד קולטני שמש לחימום מים

מסמך זה יסקור את תוצאותיה של התכנית לבידוד בתים (Home Insulation Program). ממשלת אוסטרליה הקצתה כ-2.4 מיליארד דולר אוסטרלי לטובת סבסוד בידודם של כ- 40% מהמבנים הלא מבודדים באוסטרליה. בעל נכס אשר נמצא זכאי להשתתף בתכנית יכול היה לקבל סבסוד של עד 1,600 דולר

<sup>38</sup> Green deal applications fall by a fifth: <http://www.theguardian.com/environment/2014/jan/21/green-deal-energy-saving-scheme>

<sup>39</sup> Green Deal loans reviewed Green deal loans: interest rates and fees <http://www.which.co.uk/energy/creating-an-energy-saving-home/reviews-ns/green-deal-loans-reviewed/green-deal-loans-interest-rates-and-fees/>

אוסטרלי לטובת בידוד הנכס (שלאחר מכן הופחתו ל- 1,200 דולרים). בעוד שבתחילת יישום התכנית העבירה המדינה את הסבסוד לבעל הנכס, החל מיולי 2009 הועבר הסבסוד ישירות לקבלן המבצע. שינוי זה הביא לעלייה גדולה של ביישום התכנית שכן בעלי המקצוע קיבלו תמריץ מיידית.<sup>40</sup>

עד מרץ 2010 כ-1.2 מיליון בתים השתתפו בתכנית. מלבד החיסכון העצום בצריכת חשמל וגז לחימום וקירור הצליחה התכנית לייצר כ-9,000 מקומות עבודה לבודקים מוסמכים ועוד אלפי משרות בתעשיית הבידוד, התכנון והבנייה.<sup>41</sup> התכנית ספגה ביקורות רבות, בעיקר עקב מותם של ארבעה פועלי בניין (בתקריות נפרדות) אשר התחשמלו למוות בעת עבודתם עם יריעות בידוד מצופות רדיד מתכת. בנוסף, התכנית נקשרה בפרשיות שחיתות והונאה שהוסיפו לביקורת הציבורית נגדה.<sup>42</sup>

בעקבות מותם של פועלי הבניין ופרשיות השחיתות, הופסקה התכנית בפברואר 2010. מתוך כ-1.2 מיליון הבתים שהשתתפו בתכנית, כ-17.6% אינם עומדים למעשה בקריטריונים שהוצבו לקבלת הסבסוד, ובכ-7.6% ישנן בעיות בטיחות קשות הנובעות מהשימוש בו. כתוצאה מכך, מיליארד הדולרים שנותרו לטובת יישום התכנית הועברו כעת לצורך בדיקות בטיחות ואיכות בידודם של כ-250,000 מהמבנים שנטלו חלק בפרויקט.

תחקירים שבוצעו ע"י הקבינט וראש הממשלה האוסטרלי זיהו בעיות בתכנון התכנית, בניהול הסיכונים, אפיון הזכאות, בתהליך האדמיניסטרטיבי ובתהליך בדיקת האיכות. הדו"חות קבעו כי התכנית נכתבה בפרק זמן קצר מאוד (בין פברואר ליוני 2009) על מנת להתמודד עם המשבר הכלכלי העולמי שפרץ ב-2008. פרק הזמן הקצר שהוקצה לכתיבת התכנית לא אפשר בדיקה מקיפה של השלכותיה. בנוסף לכך, מסיקים הדו"חות כי כותבי התכנית התמקדו בעיקר בעידוד הציבור לצריכת בידוד והזניחו את האספקטים הבטיחותיים, מתוך כוונה שאלו יטופלו בשלב מאוחר יותר. מסקנות התחקיר היו כי כותבי התכנית צריכים היו לשם דגש על ניהול הסיכונים בכלל, על רישום והכשרת מתקיני הבידוד וכן על תקנות הבטיחות והאיכות.<sup>43</sup>

<sup>40</sup> "Dept of Climate Change and Energy Efficiency Factsheet: Home Insulation Program: emissions reductions".

<sup>41</sup> <http://www.anao.gov.au/Publications/Audit-Reports/2010-2011/Home-Insulation-Program/Audit-brochure>

<sup>42</sup> Energy Efficient Homes Package [http://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_Efficient\\_Homes\\_Package#cite\\_note-12](http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_Efficient_Homes_Package#cite_note-12)

<sup>43</sup> <http://www.anao.gov.au/Publications/Audit-Reports/2010-2011/Home-Insulation-Program/Audit-brochure>

### 3.5 בחינת החיסכון הפוטנציאלי על ידי בידוד מבני מגורים בישראל

על מנת לבחון את פוטנציאל החיסכון באנרגיה כתוצאה מבידוד של מבני מגורים בישראל, נערכה בדיקה האומדת את ההשפעה של השימוש בבידוד על רמת ביצועיהם של מגוון טיפוסים מגורים נפוצים בישראל. בדיקה זו נעשתה על ידי חישוב צריכת האנרגיה ביחידות אלו ובחינת הקשר בין בידוד לבין מגוון גורמים המשפיעים גם הם על צריכת האנרגיה במגורים (טיפולוגיית הבניין, טכנולוגיית הבנייה אזור האקלים ועוד).

לצורך הבדיקה, נבחנה השפעת הבידוד על 2 טיפוסים בנייה קיימים למגורים:

- א. בבנייה הרוויה החדשה נבחנו 2 שיטות בנייה (שיטת ברנוביץ' ובנייה בבלוקים)
  - ב. בבנייה הקיימת נבחנו 2 טיפולוגיות (דירות בבנייני "רכבת" האופייניים למגורים משנות ה-50 וה-60, וכן דירות בבניינים בעלי תכנית "H" האופיינית למגורים משנות ה-70 וה-80).
- כלומר סה"כ נבדקו 4 סוגי בינוי המייצגים אחוז משמעותי מהבינוי בישראל.

ערכי ההתנגדות התרמית (R-Value) שנבחנו במחקר זה התקבלו לאחר חישוב הערכים התרמיים של חתכי הקיר האופייניים, כפי שאלו מתוארים בטבלה 3.

בעוד שחלק קטן מחתכי הקיר שנבדקו לבנייה רוויה לא משופרת (בנייה רוויה כפי שמתבצעת כיום) אינם עומדים בת"י 1045 בחלק מאזורי האקלים, הושם דגש על כך שלאחר הוספת הבידוד – כל חתכי הקיר המשופרים יעמדו בדרישות התקן.

בנוסף, כיוון שיחידות הדיור במבנים הקיימים שנבדקו נבנו לפני כתיבתו של ת"י 1045 – קירות מעטפת במבנים אלו אינם מחויבים לתקן ועל כן אינם עומדים בו. למרות זאת, לאחר הוספת הבידוד לקירות הקיימים – כל הקירות עומדים בתקן.

יצוין כי בעת כתיבת מחקר זה פורסם גליון תיקון לת"י 1045, המאפשר הקלה בטיפול בגשרים תרמיים בבנייה חדשה באזורי אקלים א' ו-ב'. בעקבות ההקלה, אין דרישה לבידוד בתחתית תקרת בטון, או בקירות בטון הניצבים לקיר מעטפת ומהווים גשר תרמי. הקלה זו נוגעת בעיקר לבנייה בשיטת ברנוביץ'.

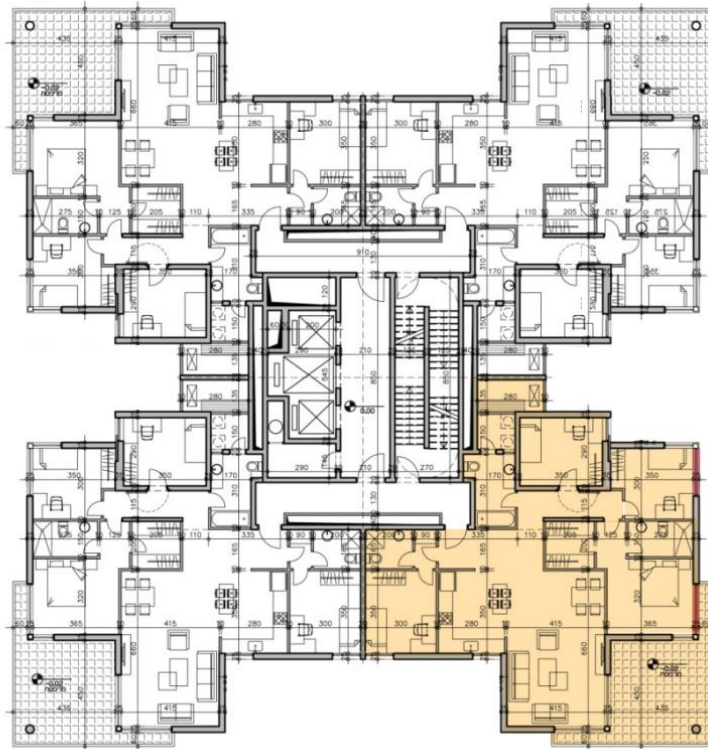
טבלה 2 – דרישות ת"י 1045

מינימאלי לפי אזורי אקלים R-Value (m2K/W)				מסה ליחידת שטח (ק"ג/מ"ר)
ד	ג	ב	א	
0.9	0.8	0.7	0.6	>300
1.0	1.0	0.9	0.8	200
1.2	1.2	1.1	1.0	150
1.5	1.5	1.5	1.25	<100

כל המבנים נבחנו בכל ארבעת אזורי האקלים בישראל באמצעות תוכנה למידול תרמי (IES-VE). תוכנות אלו הן תוכנות אשר באמצעותן ניתן לחשב בכל שעה במהלך שנה קלנדרית, מגוון של פרמטרים – מצבי נוחות

תרמית (טמפרטורה, לחות יחסית וכו'), עומסים הקשורים לצריכת אנרגיה ואקלום ועוד. יש לציין כי לתכנות הנ"ל מגבלות שונות<sup>44</sup>. על כן, יש להתייחס בבדיקה זו ל'יחסיות' שבין התוצאות השונות (או, לאחוזי השיפור), ולקחת את הערכים המוחלטים בערבון מוגבל.

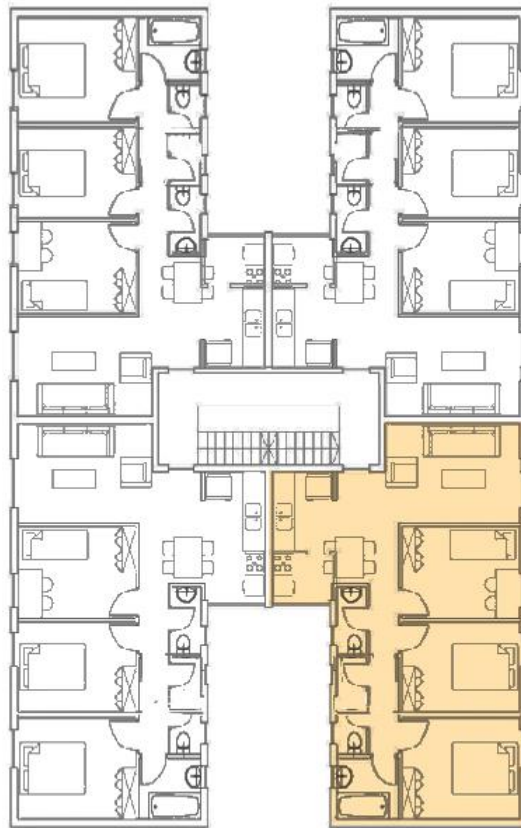
על מנת לבחון את השפעת הבידוד על המבנים השונים, לכל סימולציה נעשתה השוואה בין 'מבנה ייחוס' (המבנה המקורי בו מודלה יחידת הדיור עם קירות המעטפת המקוריים) לבין 'מבנה משופר' (מבנה בו שולב בידוד על גבי המעטפת). תרשימים 7-9 מציגים את תכניות יחידות הדיור שנבחנו וטבלה 3 מציגה את מרכיבי המעטפת של הסימולציות השונות ואת ערכי ה-U-Value שלהם.



תרשים 7: יחידת דיור בבנייה רוויה (בנייה חדשה). שטח היחידה – 150 מ"ר נטו.  
מקור: אדר' קרן אשד.

<sup>44</sup> Compliance Document for New Zealand Building Code Clause H1 Energy Efficiency – Third Edition Prepared by the Department of Building and Housing

<sup>45</sup> Thermal insulation By Nigel Isaacs, BRANZ Principal Scientist BUILD October/November 2007 p.111



תרשים 8: יחידת דיור בבניין "H" אופייני משנות ה-70 וה-80 (בנייה קיימת). שטח היחידה – 100 מ"ר נטו.



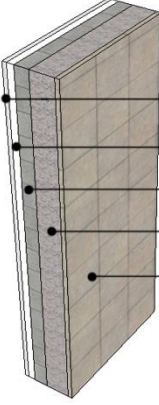
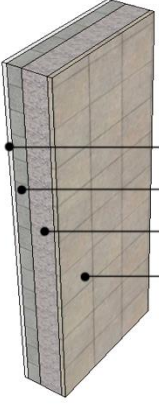
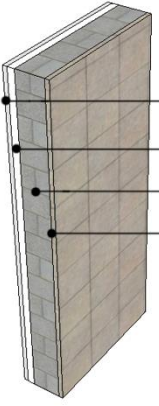
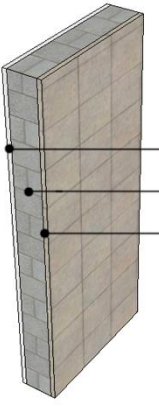
תרשים 9: יחידת דיור בבניין "רכבת" אופייני משנות ה-50, וה-60 (בנייה קיימת). שטח היחידה – 50 מ"ר.

יצוין כי על אף שליחידות הדיור המוצגות להלן הפנייה דרומית, נערכו מספר בדיקות מדגמיות גם ליחידות בעלי הפנייה צפונית על מנת לשלול אפשרות של הטיית התוצאות עקב הפנייתן. בבדיקות אלו נמצא כי דפוס התוצאות בדירות צפוניות דומה מאוד לזה של דירות דרומיות וההבדל בדפוס ההתנהגות – זניח. על כן, לשם שמירה על עקביות, כל התוצאות המוצגות במסמך זה מתייחסות ליחידות הדיור הדרומיות, כפי שהן מוצגות בשרטוטים להלן.

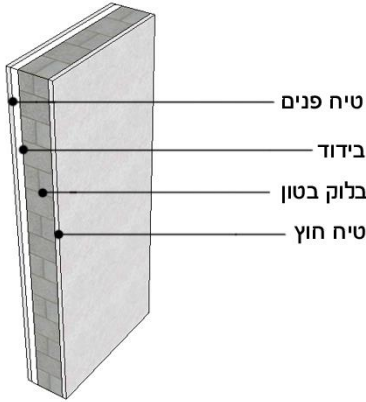
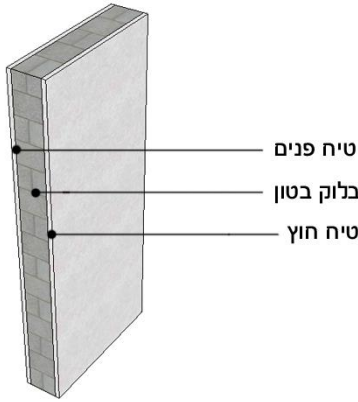


- יש להדגיש כי בבדיקה שערך מחקר זה לא נבדקו שיטות התקנת הבידוד, אלא פשוט עצם קיומו של בידוד ותרומתו לשיפור הביצועים האנרגטיים של הדירות. מסיבה זו השרטוטים המצורפים כלליים יחסית ואינם מציינים את סוג הבידוד ואת אופן התקנתו, אלא רק את המצב המקורי, ולעומתו ערכי הבידוד של המצב המשופר.
- כמו כן, יצוין כי למעט שיטת ברנוביץ' אשר מחייבת בידוד פנימי – הבידוד בשאר התרחישים שנבדקו יכול להיות הן בידוד פנים והן בידוד חוץ.

טבלה 3: חתכי הקיר שנבחנו במחקר (חתכים עקרוניים בלבד):

מבנה משופר	מבנה ייחוס	שיטת הבנייה
 <p>טיח בידוד איטונג בטון חיפוי אבן חוץ</p> <p>U-Value = 0.45 [W/m<sup>2</sup>K] R-Value = 1.9[m<sup>2</sup>K/W]</p>	 <p>טיח איטונג בטון חיפוי אבן חוץ</p> <p>U-Value = 1.05 [W/m<sup>2</sup>K] R-Value = 0.75[m<sup>2</sup>K/W]</p>	שיטת ברנוביץ'
 <p>טיח בידוד איטונג חיפוי אבן חוץ</p> <p>U-Value = 0.36 [W/m<sup>2</sup>K] R-Value = 2.6[m<sup>2</sup>K/W]</p>	 <p>טיח איטונג חיפוי אבן חוץ</p> <p>U-Value = 0.63 [W/m<sup>2</sup>K] R-Value = 1.4[m<sup>2</sup>K/W]</p>	בנייה בבולקים

בנייה רוויה (חדשה)

		<p>בלוק בטון ללא בידוד (מבנה H ומבנה רכבת)</p>	<p>בנייה קיימת</p>
<p>U-Value = 0.65 [W/m<sup>2</sup>K] R-Value = 1.4[m<sup>2</sup>K/W]</p>	<p>U-Value = 2.8 [W/m<sup>2</sup>K] R-Value = 0.2[m<sup>2</sup>K/W]</p>		

- בנוסף, לצורך חישוב הערכים האבסולוטיים והחיסכון הכללי למשק נלקחו בחשבון ההנחות הבאות:
- צריכת החשמל השנתית בישראל נכון ל-2012 הייתה כ- 58[tWh], והגידול בצריכת החשמל הוא כ- 2% בשנה<sup>46</sup>.
  - מחיר ממוצע של קוט"ש לצרכן בישראל עומד על כ- 0.65 ש"ח לקוט"ש. העלויות החיצוניות לייצור קוט"ש הן כ-0.95 ש"ח לקוט"ש.
  - הביקוש לחשמל במגורים בישראל, נכון ל-2012, הוא כ-30% מכלל צריכת החשמל במשק, מתוכם כ-35% - 40% מופנים לאקלום (קרור וחימום).
  - בהתבסס על נתוני הלמ"ס הנוגעים לפיזור האוכלוסייה בישראל (משנת 2002), מחקר זה מניח כי פיזור יחידות המגורים בישראל לפי אזורי האקלים הוא כלהלן:
    - אזור אקלים א' - 30% מיחידות הדיור
    - אזור אקלים ב' - 40% מיחידות הדיור
    - אזור אקלים ג' - 20% מיחידות הדיור
    - אזור אקלים ד' - 10% מיחידות הדיור
  - בהתבסס על מקורות (בינוי 68), (תמ"א 38), מונח כי סך כל יחידות הדיור בישראל הוא כ-2,349,000, מתוכן כ- 53% נבנו לפני שנת 1988 (וללא בידוד) וכ-47% נבנו לאחריה (בשיטת ברנוביץ'בלוקים).

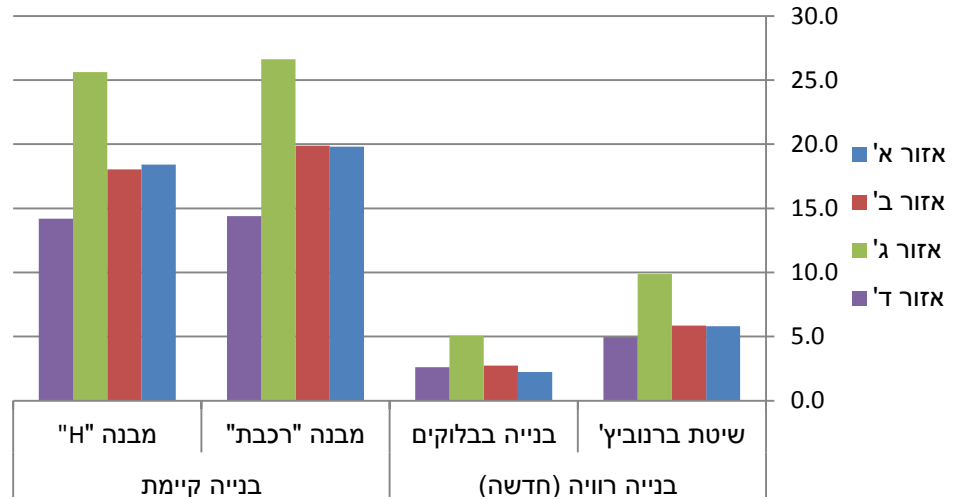
### תוצאות וניתוח:

#### אחוז שיפור צריכת האנרגיה למ"ר:

תרשים 10 מראה את אחוז השיפור בצריכת האנרגיה לפי סוגי המבנים באזורי האקלים השונים. התוצאות מראות כי הוספת בידוד למעטפת יחידות הדיור שנבדקו אכן יכולה להביא לירידה בצריכת האנרגיה לאקלום. השיפור הניכר ביותר נרשם במבנים קיימים בהם הובילה הוספת הבידוד לירידה של בין 14.2 ל-26.6% מצריכת האנרגיה לאקלום, בעוד ששיפור הבידוד בבנייה רוויה הביא לחיסכון של בין 2.2 ל-9.9%.

<sup>46</sup>לפי מחקר אפס פחמן בישראל, הפורום הישראלי לאנרגיה, 2013.

- בנייה רוויה – תוספת הבידוד בשיטת ברנוביץ' הביא לחיסכון משמעותי יותר מזה אשר בבנייה בבלוקים.
- בנייה קיימת – הוספת הבידוד לבנייה קיימת הביאה לשיפור משמעותי (באחוזים) לשתי טיפולוגיות הבנייה שנבחנו, בשיעור של כ- 19.5% במוצע.
- אחוזי השיפור המשמעותיים ביותר נרשמו באזור האקלים ג'.



תרשים 10: אחוז השיפור בצריכת האנרגיה לאקלום, סיווג לפי מבנים.

#### צריכת האנרגיה הכללית למ"ר

- תוצאות הבדיקה מראות כי יחידות דיור במבני "H" הם בעלי הביצועים הגרועים ביותר, גם לפני הוספת הבידוד וגם לאחריה. על אף האמור לעיל, תוצאות הבדיקה מראות כי באמצעות בידוד של מבני "H" ניתן להביא אותם לסטנדרט דומה לזה של מבנים חדשים הנבנים כיום (ללא בידוד נוסף).
- על אף שאחוז השיפור של דירה במבנה "H" ודירה במבנה רכבת דומה (תרשים 4 – כ- 20% במוצע), דירת "H" צורכת בערך פי 2.5 יותר אנרגיה מאשר דירה במבנה רכבת. על כן, כמות האנרגיה האבסולוטית שתחסך בדירה במבנה "H" בעקבות התקנת בידוד תהיה גדולה הרבה יותר מזו של דירה במבנה רכבת. הסיבה לכך טמונה בהבדל בין שטחיהן של יחידות הדיור (100 מ"ר ליחידת דיור במבנה "H" לעומת 53 מ"ר לדירה במבנה הרכבת), ובכך שלצורך אקלום של יחידות דיור בעלות שטח (ונפח) גדול יותר - יש צורך בהשקעה גדולה יותר של אנרגיה.

מבנה "H"	מבנה "רכבת"	בנייה רוויה	שטח (מ"ר)
100	53	150	

טבלה 4: שטחי יחידות הדיור שנבחנו

- טבלה 5 מראה את סה"כ החיסכון השנתי האבסולוטי לדירה (בקוט"ש), לפי סוגי הדירות השונים. מטבלה זו ניתן להסיק כי כמות האנרגיה האבסולוטית היכולה להיחסך הודות לבידוד גדולה יותר במבנים קיימים, ובאופן מיוחד בדירות מסוג "H" בשל השילוב של נפח גדול ומעטפת בעלת ביצועים נמוכים.

בנייה קיימת		בנייה רוויה (חדשה)		
מבנה "H"	מבנה "רכבת"	בנייה בבלוקים	שיטת ברנוביץ'	
639	275	56	155	אזור א'
706	314	80	179	אזור ב'
943	401	135	284	אזור ג'
791	340	117	231	אזור ד'

טבלה 5: חסכון אנרגיה שנתי אבסולוטי (קוט"ש).

#### מידת החיסכון באנרגיה למ"ר קיר מעטפת

יחידות הדיור השונות נבדלות זו מזו לא רק בשטח הרצפה שלהן אלא גם בשטח הפנים שלהן. לדירה בשיכון רכבת, למשל יש בד"כ 2 קירות חוץ בלבד, בעוד שלדירה בבנייה רוויה יש 4 כוונות אוויר עם קירות חוץ רבים ושטח פנים גדול. שטח הפנים הוא המרכיב העיקרי המביא לאיבודי חום/קור, וככלל, דירה בעלת תכנית קומפקטית ומרוכזת תהיה יעילה יותר מבחינה אנרגטית.

טבלה 4 מסכמת את גודלם שטחי הפנים של היחידות השונות שנבדקו (בניכוי שטחי החלונות). טבלה 5 מציגה את סך החיסכון השנתי האבסולוטי למ"ר מעטפת, או במילים אחרות – את כמות האנרגיה והכסף שייחסכו על ידי הוספה של 1 מ"ר בידוד למעטפת לכל בניין באזורי האקלים השונים. טבלה זו מראה כי מבין כל סוגי הדירות שנבחנו, בידוד מבנים קיימים משתלם מאוד, ובאופן מיוחד, בידוד דירות בשיכון רכבת הוא הבידוד המשתלם ביותר שכן בעל ההחזר הגבוה ביותר.

מבנה "H"	מבנה "רכבת"	בנייה רוויה	
93	28	101	שטח (מ"ר)

טבלה 6: שטחי חזיתות יחידות הדיור שנבחנו בניכוי החלונות

בנייה קיימת				בנייה רוויה (חדשה)				
מבנה "H"		מבנה "רכבת"		בנייה בבלוקים		שיטת ברנוביץ'		
ש"ח	קוט"ש	ש"ח	קוט"ש	ש"ח	קוט"ש	ש"ח	קוט"ש	
5.2	6.9	7.4	9.8	0.5	0.6	1.2	1.5	אזור א'
5.7	7.6	8.4	11.2	0.6	0.8	1.4	1.8	אזור ב'
7.6	10.1	10.7	14.3	1.0	1.4	2.1	2.8	אזור ג'
6.3	8.5	9.1	12.2	0.9	1.2	1.7	2.3	אזור ד'

טבלה 7: סך החיסכון השנתי באנרגיה ובשקלים כולל עלויות חיצוניות, למ"ר בידוד מעטפת (קוט"ש למ"ר מעטפת)

המסקנה הנובעת מטבלה 5 היא שהשקעה (ע"י סבסוד, למשל) בבידוד מבנים קיימים בכלל ובמבני "H" בפרט תהיה רווחית עד כמעט פי 25 מהשקעה בסבסוד בידוד למבנים בבנייה רוויה. עם זאת, יש לזכור שהוספת בידוד במבנים קיימים יקרה יותר מאשר שיפור הבידוד במבנים חדשים שכן בידוד מבנים קיימים כרוך בד"כ בשיפוץ

כולל של יחידת הדיור ובעבודות נלוות, בעוד ששיפור בידוד יחידות דיור חדשות כרוך סה"כ בהוספת שכבת בידוד נוספת לשכבת הקיר בעת הרכבתו.

### מידת החיסכון לכלל המשק בישראל

במסגרת מחקר זה נערך חישוב להערכת החיסכון האפשרי למשק הישראלי כתוצאה מבידוד מבנים מגורים בישראל. מחישוב זה עולה כי:

- פוטנציאל החיסכון השנתי לסך כל יחידות הדיור בישראל עומד על כ- 585 מיליון ש"ח (נתון זה מורכב מכ- 510 מיליון ש"ח חיסכון לציבור ועוד כ- 75 מיליון ש"ח עלויות חיצוניות<sup>47</sup>).
- פוטנציאל החיסכון באנרגיה לאקלום הנובע מבידוד דירה ממוצעת בישראל עומד על כ-13% מסך האנרגיה לאקלום, שהם כ- 4.5% מסך חשבון החשמל החודשי של משק בית ממוצע בישראל.
- החיסכון, כאמור, מוחשי יותר בדירות קיימות באופן כללי ובדירות שנבנו בשנות ה-70 וה-80 בפרט, שכן אלו הן דירות גדולות יחסית, לא מבודדות ובעלות שטח פנים גדול. פוטנציאל החיסכון בדירות קיימות עומד על כ- 22% מסך האנרגיה לאקלום, שהם כ- 7% מסך הוצאות על חשמל למשק בית.
- טבלה 6 מראה את סה"כ החיסכון השנתי בשקלים, לדירות קיימות באזורי האקלים השונים (כולל עלויות חיצוניות).

דירה מסוג "H" – שנות ה-70\80	דירה במבנה "רכבת"	
479	206	אזור א'
530	235	אזור ב'
707	300	אזור ג'
593	255	אזור ד'

טבלה 8: החיסכון השנתי לדירה קיימת באזורי האקלים השונים (בשקלים, כולל עלויות חיצוניות).

בהינתן כי עלות בידוד של מבנה קיים (כולל קילוף טיח) היא 150 ש"ח למ"ר<sup>48</sup>, טבלה 9 מציגה את פרק הדרוש להחזר מלא על הוצאות בידוד (Payback Time).

דירה מסוג "H" – שנות ה-70\80	מבנה "רכבת"	
29	20	אזור א'
26	18	אזור ב'
20	16	אזור ג'
24	16	אזור ד'

טבלה 9: זמן החזר להוצאות על התקנת בידוד באזורי האקלים השונים (בשנים).

<sup>47</sup> על העלויות החיצוניות ניתן לקרוא בתכנית הלאומית לצמצום ומניעת זיהום אוויר, אגף איכות אוויר ושינוי אקלים, המשרד להגנת הסביבה, 2012.

<sup>48</sup> על בסיס שקלול ממס' מקורות, המתייחס לסוגי בידוד שונים וזמן עבודה. במידה וקיים מהלך המסבסד תהליך כולל למס' מבנים העלות עשויה להשתנות. גודל המבנים משפיעים אף הם על העלות, לדוגמא לאור הצורך בפיגומים. עלות נוספת קיימת לסקר מבנים מקדים שיש לבצע, אם כי המשרד להגנת הסביבה והלשכה המרכזית לסטטיסטיקה מקדמים סקר עצמאי וכולל לאלפי מבנים, מה שיחסוך בעלויות אלו.

- שיפוץ כל הדירות הקיימות בישראל, שנבנו טרם שנות ה-90 (מבני "H" ושיכוני הרכבת גם יחד), יכול להביא לחיסכון של כ-450 מיליון ש"ח בשנה.
- שיפוץ של 20% ממסכת הדירות הקיימות במבנים מסוג "H" (כ-120,000 יח"ד, או כ-10,000 מבנים), עד שנת 2025, יכול להביא לחיסכון של כ-66 מיליון ש"ח בשנה, ואילו שיפוצם של 50% ממבנים אלו (כ-300,000 יח"ד או כ-25,000 מבנים) יביא לחיסכון של כ-165 מיליון ש"ח בשנה.
- שיפוץ של 20% ממסכת הדירות הקיימות במבני רכבת (כ-120,000 יח"ד או כ-10,000 מבנים), עד שנת 2025, יביא לחיסכון של כ-27 מיליון ש"ח בשנה, ואילו שיפוץ של 50% ממבנים אלו יביא לחיסכון של כ-65 מיליון ש"ח.
- שיפוץ של 100,000 יח"ד במבנים מסוג "H" (כ-7,500 מבנים) באזור האקלים ה"משתלמים" ביותר (אזורים ב' ו-ג') יניב חיסכון של כ-61 מיליון ו-80 מיליון ש"ח למשק בשנה, בהתאמה, או בין 8,000 ל-10,000 ש"ח לבניין בשנה. 100,000 יח"ד באזורים ב' ו-ג' מהווים כ-45%-90% מכמות יח"ד באזורים אלו בהתאמה.

טבלה 10: התסריטים שונים לחיסכון אפשרי כתוצאה מבידוד הקירות.

החישוב מתייחס לשיפוץ הדירות עד שנת 2025, ולוקח בחשבון גידול שנתי של 2% בצריכת האנרגיה<sup>49</sup>.

הערות	פוטנציאל חיסכון שנתי	אזורי אקלים	סוג מבנה	כמות יחידות הדיור לבידוד
פוטנציאל החיסכון השנתי המקסימאלי, לו כל מבני המגורים בישראל יהיו מבודדים עד שנת 2025, עומד על למעלה מחצי מיליארד ש"ח לשנה.	כ-585 מיליון ש"ח <sup>50</sup>	כל אזורי האקלים	כל סוגי המבנים, בנייה חדשה ובנייה קיימת.	כל יחידות הדיור בישראל (יעד תיאורטי)
פוטנציאל החיסכון השנתי לכל מבני המגורים שנבנו לפני 1988 עומד על כמעט	כ-450 מיליון ש"ח	כל אזורי האקלים	מבני "H" ושיכוני רכבת.	כל יחידות הדיור הקיימות בישראל, שנבנו טרם שנות ה-90 (בעלות בידוד לקוי).

<sup>49</sup> לפי מחיר קוט"ש לשענה בזמן כתיבת המחקר

<sup>50</sup> נתון זה מורכב מכ-510 מיליון ש"ח חיסכון ישיר לציבור ועוד כ-75 מיליון ש"ח עלויות חיצוניות כפי שהוגדרו ע"פ המשרד להגנת הסביבה. פירוט על תחום העלויות החיצוניות ניתן לקרוא בסעיף 5.3 במחקר זה.

חצי מיליארד ש"ח בשנה.				
שיפוץ 10,000 מבני "H" (תסריט ריאלי) הוא המשתלם ביותר.	כ- 66 מיליון ש"ח	כל אזורי האקלים	מבני "H"	כ- 10,000 מבנים (כלומר 120,000 יח"ד, בכל בניין ישנן 12 יח"ד בממוצע)
תסריט זה מתאר תרחיש שאפתני יותר.	כ- 165 מיליון ש"ח	כל אזורי האקלים	מבני "H"	כ- 25,000 מבנים (כלומר 300,000 יח"ד)
שיפוץ 10,000 מבני רכבת (תסריט ריאלי) רווחי פחות משיפוץ מבני "H".	כ- 27 מיליון ש"ח	כל אזורי האקלים	שיכוני רכבת	כ- 10,000 מבנים (כלומר 120,000 יח"ד)
	כ- 65 מיליון ש"ח	כל אזורי האקלים	שיכוני רכבת	כ- 25,000 מבנים (כלומר 300,000 יח"ד)
שיפוץ מבני "H" באזור אקלים ב' ו-ג' הוא בעל פוטנציאל החיסכון הגדול ביותר.	כ- 61 מיליון ₪	אזור ב'	מבני "H"	7,500 מבנים (כ- 100,000 יח"ד)
	כ- 80 מיליון ₪	אזור ג'	מבני "H"	7,500 מבנים (כ- 100,000 יח"ד)

- מבין הדירות הקיימות, דירות במבני שיכוני רכבת הן בעלות זמן ההחזר המהיר ביותר של השקעת שיפוץ המעטפת (בין 16-20 שנים), אולם דירות במבני "H" משנות ה-70 וה-80, על אף זמן ההחזר הארוך יותר (בין 20 ל-29 שנים) הן בעלות החיסכון האבסולוטי באנרגיה הגבוה ביותר (בידודם של כל מבני ה-"H" בישראל יביא לחיסכון שנתי בשווי של כ- 320 מיליון ש"ח בשנה).
- מכאן עולה כי ההחלטה האם לממן בידוד של מבני רכבת או מבני "H" תלויה בהגדרת מטרת המימון: במידה ומטרת המימון תהיה זמן ההחזר המהיר ביותר – מומלץ יהיה לממן מבני רכבת. במידה ומטרת המימון תהיה להביא לחיסכון האבסולוטי הגדול ביותר באנרגיה – מומלץ יהיה לממן מבני "H".

- הוספת בידוד למבנים חדשים (כפי שכבר דורש החוק בת"י 1045) תניב תשואה נמוכה יחסית בעתיד הקרוב, אך ככל שיבנו יותר מבנים – מידת החיסכון תעלה. כך, למשל, במידה וכל יחידות הדיור החדשות הנבנות החל מ- 2014 יחויבו להתקין בידוד משופר (כפי שהודגם בסימולציות), בשנת 2025 פוטנציאל החיסכון השנתי יעמד על כ- 70 מיליון ש"ח מסה"כ ההוצאות על אנרגיה במשק.

### 3.6 המלצות לאור סקירת מקרי המבחן בעולם וניתוח החיסכון במשק הישראלי

לאור הסקירה הספרותית והבדיקות שנעשו בעבודה זו, אנו ממליצים להשקיע בפיתוח שוק הבידוד המקומי באמצעות תכנית לאומית שתגדיר יעדים מדידים ותפעל להשגתם. על מנת שתכנית מסוג זה תצליח עליה להתחשב בנקודות הבאות:

א. עידוד שוק הבידוד בישראל יכול להביא ליצירת מקומות עבודה רבים במגזרים שונים, החל ממגזר המתכננים (אדריכלים ומהנדסים), דרך המבצעים (פועלי הבניין ומפעלי הייצור) ועד לדרג הרגולטורים והמפקחים (פקידים ממשלתיים וכן פקחים בשטח). סקירת תכניות בידוד מן העולם מראה כי המשק הישראלי יוכל להרוויח אלפי מקומות עבודה חדשים. על אף האמור לעיל, ולאור סקירת מקרים דומים מרחבי העולם, לפני יישומם של שינויים בתקנות הבנייה המקומיות יש לדאוג להכשרה איכותית של כ"א מיומן לכל אחד מהמגזרים השונים. יישום תכניות Retrofit והרחבת שוק הבידוד ללא הכשרה מספקת של כ"א עלולה להביא למצב בו לשוק אין יכולת טכנית לעמוד בדרישות.

ב. אנו ממליצים כי תהליך יישום הבידוד ילווה הן בהקצאת משאבים לבקרה והן בתמרוץ גורמים בתעשייה. סקירת השווקים השונים בעולם מראה כי חקיקה ללא בקרה אינה אפקטיבית, וכן תמרוץ התעשייה ללא פיקוח עלול להביא לצמיחה פראית ולא מבוקרת של השוק, צמיחה העלולה להוביל למצב בו גורמים מסוימים יקלו ראש בתקנות בטיחות על מנת למקסם את רווחיהם. שינוי התנהגות השוק הוא בהחלט אפשרי אך הוא חייב להיות אטרקטיבי לכל הגורמים בו.

ג. על מנת למנוע רתיעה של הציבור מתוספת הבידוד במבנים, יש לייצר פלטפורמה נגישה, פשוטה וברורה, בה יוצע הסבר הנוגע לתפקיד הבידוד בבנייני מגורים וכן הסבר על התקנות החדשות. הבנת הצורך בבידוד ע"י הציבור הינו נק' מפתח.

המלצות לצעדי מדיניות נוספים לנטרול חסמים בשוק הבידוד ניתן לקרוא בפרק 5.



## 4. ניתוח חסמים ליישום בשוק המקומי

פרק זה מציג חסמים מרכזיים ומהותיים אשר עלו במהלך שיחות, התכתבויות וראיונות עם 23 בעלי מקצוע העוסקים בבידוד או בתחומים בהם הבידוד מהווה מרכיב משמעותי. המרואיינים הגיעו ממגוון תחומים, ביניהם קבלנים, יזמים, מהנדסים, יועצים תרמיים, אדריכלים, יצרנים, עובדי משרדי ממשלה ומכוני תקינה, עובדי רשויות ועוד (הרשימה מפורטת מצוייה בפרק התודות).

את החסמים ניתן לחלק ל 4 קטגוריות:

- תקינה והיבטים רגולטיביים,
- מידע וידע מקצועי,
- היצע המוצרים והשיטות,
- שוק הבנייה ועלויות הבידוד.

### 4.1 תקינה והיבטים רגולטיביים:

סקירה אודות התקינה המחייבת והוולונטרית ניתנה בפרק 3. חסם מרכזי בהיבט זה הוא חוסר הסנכרון בין התקנים שונים. שינויים הנעשים בת"י 1045 משפיעים על ת"י 5281 ות"י 5282 אך תקנים אלו אינם מתעדכנים בהתאם בזמן אמת. כתוצאה מכך אין ראיית על מכוונת עבור כלל תקני הבידוד אשר יכולים בפועל לסתור זה את זה ולדבר במונחים שונים.

היעדר הסנכרון קיים גם בין תקני הבידוד לתקנות התכנון והבנייה. דוגמא מובהקת לכך ניתן לראות בתקנות האש המתגרות את נושא הבידוד, כך שבעוד תקן אחד מנסה לייצר דרישה וסטנדרט לבידוד (ת"י 1045) תקינה מקבילה מגבילה וסותרת אותו.<sup>51</sup> היעדר יד מכוונת ניכר בכלל ענף הבנייה ונקודתית בתחום הבידוד. ביקורת נוספת נוגעת לנתק בין תקני הבידוד לפרקטיקה הנהוגה בשטח. ההסתמכות על האקדמיה כמקור ידע מרכזי לבניית התקנים מובילה לחוסר התאמה בין דרישות התקנים לבנייה המקובלת. היבט זה יוצר רתיעה מן התקינה, הן בקרב יזמים וקבלנים, הן בקרב היצרנים – האוחזים בגוף הידע משמעותי ולא מנוצל, והן ע"י מהנדסים, אדריכלים, מפקחים ושאר נציגים בשרשרת הבינוי שאינם מבינים את התקנים לעומקם ומתקשים ליישם.

#### א. ת"י 1045

בהתאם לתקנות התכנון והבנייה (סעיף 5.39 מתאריך 1986) כל בניין מגורים חייב לעמוד בדרישות התקן הישראלי ת"י בתחום הבידוד התרמי. כלומר ת"י 1045 חלק 1 – בידוד תרמי של בתי מגורים. דרישות התקן היו נמוכות ביחס למדינות בעלות אקלים דומה ב-OECD. הוויזיה שנעשתה בתקן ב-2011 העלתה את דרישותיו (למרות שהדעות חלוקות בנוגע לרמתו, מס' מרואיינים למחקר זה התייחסו עליו כנחות ביחס לתקני בידוד תרמיים בינלאומיים, להבדיל, קבלנים ויזמים רואים בו החמרה מהירה מדי ביחס למקובל עד לשנת 2011).

<sup>51</sup> כיום ניתן למצוא חוקים והנחיות יישום בתחום האש במספר מקומות שונים: בתקנות התכנון והבנייה, בתקנות רשות הכיבוי, בתקנים ספציפיים לנושאי אש, בתקני בניה ייעודיים ועוד. כל אחד מהתקנים והתקנות מספק תמונה חלקית בלבד, ובשבייל לקבל את מכלול הדרישות צריך לעיין בכולם. חלק מהעוסקים בתחום לא מודעים לכל הדרישות, כיוון שחלקן נמצאות בתקנים המתייחסים בכלל לקונסטרוקציית המבנה (למשל תקן 466 התקן לתכנון בבטון מזוין, ותקן 1225 לתכנון בפלדה). כך שהיעדר יד מכוונת ומבט על אינו אופייני רק לתחום הבידוד.

1045 מהווה כאמור את הבסיס לדרישות החוק ות"י 5281 מתייחס אליו כבניין יחוס. מאחר ותקנים אלו אינם משתנים בתיאום זה עם זה עשוי להיווצר מצב שבו דרישות החוק גבוהות או דומות לדרישות המקוריות של ת"י 5281, האמור לקדם ערכי בידוד שהם מעל לדרישות החוק.

היבט בעייתי נוסף נובע מכך שת"י 1045 נעדר חשיבה הוליסטית המתייחסת לכלל מעטפת המבנה (הכולל מערכות זיגוג, איטום, בידוד, אוורור טבעי ועוד). הסיכוי להשגת חיסכון לצרכן יעלה כאשר השיח המקצועי יעבור מהתייחסות לאלמנטים נפרדים במעטפת לתפקוד אנרגטי של חלקי המבנה והמעטפת של יחידות הדיור (זוהי למעשה מטרתו ת"י 5280<sup>52</sup> אשר טרם הוטמע וקיימת אי וודאות בנוגע למועד החלתו בקוד הבנייה).

חסם משמעותי אחר הינו דרישות התקן לטיפול בגשרי קור (המצויים בחיבור שבין העמודים והקורות בשיטת ברנוביץ', המיושמת כיום במרבית מגדלי המגורים הנבנים בארץ). דרישות אלו מחייבות בידוד פנימי בערכים תרמיים שקבלנים ויזמים טוענים כי הם מייקרים את עלויות הבנייה וקשים ליישום בפועל. במידה ודרישות התקן לא ישתנו, יצריך הדבר שינוי בשיטת ברנוביץ' או יישום פתרון תרמי אחר (פירוט נוסף על חסם זה ניתן לקרוא בסעיפים העוסקים בחסמי שוק הבנייה, חסמי ידע וחסמי הטמעת מוצרים חדשים). יצוין כי בעת כתיבת מחקר זה פורסם גליון תיקון לת"י 1045, המאפשר הקלה בטיפול בגשרים תרמיים בבנייה חדשה באזורי אקלים א' ו-ב'. בעקבות ההקלה, אין דרישה לבידוד בתחתית תקרת בטון, או בקירות בטון הניצבים לקיר מעטפת ומהווים גשר תרמי. הקלה זו נוגעת בעיקר לבנייה בשיטת ברנוביץ'.

## ב. ת"י 5281

ביוני 2013 אישרה מליאת ראשי הערים של פורום ה-5315 את ההחלטה לאמץ את התקן הישראלי לבנייה ירוקה (ת"י 5281) כמדיוניות עירונית מחייבת בערי הפורום. החלטת ראשי הערים התקבלה לאחר שנתיים של דיונים מקצועיים שכללו את לימוד הנושא והשלכות הטמעתו.

טבלה 11 מתייחסת לטיפוסי מבני המגורים הנכללת בהחלטה ואת שנה שבה תחול עליהם הדרישה לעמוד במס' כוכבי התקן<sup>54</sup>

<sup>52</sup> ת"י 5280 - תקן אנרגיה בבניינים שנכתב ביוזמת שר האנרגיה והמים ועתידי בכוונה שיהיה חלק מקוד הבנייה הישראלי. התקן מורכב מארבעה חלקים ובכל חלק נבחן נושא שונה: מעטפת הבניין, מערכות התאורה, מערכות האקלום, ומערכות השינוע, המשאבות, חשמל וחימום מים. התקן יועד במקור להיות חלק מקוד הבנייה ותקנות התכנון והבנייה, ונועד לקבוע את הרמה המחייבת של תפקוד אנרגטי הנדרשת מבניינים בישראל. תקן זה איננו מחייב נכון לכתיבת שורות אלו וקיימת אי וודאות למועד החלתו בקוד הבנייה.

<sup>53</sup> הפורום כולל את עיריות פורם ה-15 (תל אביב-יפו, חיפה, ראשון לציון, באר שבע, פתח תקווה, נתניה, חולון, רמת גן, רחובות, הרצליה, כפר סבא, חדרה, רעננה, גבעתיים ואשקלון) וכן את ירושלים, אשדוד ובת ים.

<sup>54</sup> ת"י 5281 הינו תקן המציע קטגוריות לבחינה ומדדים להגדרת מבנה ירוק. הקטגוריות מתייחסות לנושאים כגון: אנרגיה, מים, חומרים, פסולת, בריאות, תחבורה ועוד. עבור כל קטגוריה מוגדרים נושאי משנה לבחינה הכוללים קריטריונים למדידה ולהערכה. התקן מעניק ניקוד עבור עמידה בדרישות המפורטות בקריטריונים. צבירת ניקוד תזכה פרויקט בהגדרה "בניין ירוק" כאשר הדירוג (1-5 כוכבים) הוא בהתאם לניקודות שנצברו.

טבלה 11: דרישות עמידה ב ת"י 5281 למבני מגורים בערי פורום ה-15

דרישות עמידה ב ת"י 5281 למבני מגורים בערי פורום ה-15			
מספר כוכבים מינימלי לפי שנת יישום			טיפוסי בנייה (מתייחס למגורים בלבד)
2016	2015	2014	
-	-	-	צמוד קרקע
★	★	-	מעל 4 יח"ד
★	★	-	בניין גבוה (4-8 קומות)
★	★	-	רבי קומות (9-14 קומות)
★ ★	★	★	רבי קומות (15-30 קומות)
★ ★	★	★	+30 קומות
★	★	★	דיר מוגן/ מעונות סטודנטים

זוהי החלטה משמעותית אשר יוצרת מהפכה בתחום הבנייה הירוקה בישראל (בערים הנכללות בהחלטת פורום ה-15 מתגוררים קרוב ל-3 מיליון תושבים שהם כ-40% מאוכלוסיית ישראל) יחד עם זאת היא פוטר מ מבנים צמודי הקרקע מן העמידה ב"י 5281. תפיסת הקיימות שמה דגש של בנייה המיישמת ריכוז משאבים במרקמים עירוניים קיימים. מסיבה זו בניין צמוד קרקע אינו נחשב בד"כ "ירוק" מתוקף היותו חלק מתהליך הפרבור המשתלט על שטחי קרקע נרחבים אך בצפיפות נמוכה (מה שמוביל לבזבז משאבים, שינוע עודף ונסיעה רבה יותר). יחד עם זאת, אי הכללתם של צמודי קרקע בהגדרת בניין ירוק מונעת מן הדיירים והמשק ליהנות מן החיסכון הכספי הנובע מדרישות נצילות האנרגיה הקיימות בת"י 5281.

#### ג. ת"י 5282

השימוש המקובל בת"י 5282 הוא באמצעות הפנייה מתוך ת"י 5281. פירוש הדבר הוא שע"פ החלטת פורום ה-15 לא ניתן לקבל היתר בנייה ללא עמידה בת"י 5282 (כלומר, ת"י 5282, הפך להיות מחייב חלקית בערים הנכללות בהחלטת פורום ה-15). הקונצנזוס בקרב המרואיינים למסמך זה היה כי מאחר וחשוביו של ת"י 5282 מסובכים, מעטים הם אנשי המקצוע המבינים אותו לעומקו. ביקורת הועברה גם על דרישות התקן השונות, ביניהם הדרישה לערכי בידוד שונים לכל חזית במבנה (כלומר חתכי קיר שונים לכל חזית), מה שמקשה על יישומו. (מעשית וכלכלית).

ת"י 5281 (ות"י 5282) מפנים לתוכנת ENERGY ui. תוכנה זו נועדה לדירוג אנרגטי של בניינים, ומטרתה יישום של הגישה התפקודית בת"י 5282. באמצעות השימוש בתוכנה ניתן להעריך מהי מידת השיפור ביעילות האנרגטית של בניין (או חלק ממנו) ביחס לבניין ייחוס. התוכנה פותחה במעבדת אקלים ואנרגיה בארכיטקטורה -בפקולטה לארכיטקטורה ובניו ערים, בטכניון. השימוש בתוכנה פשוט והפקולטה לארכיטקטורה ובניו ערים מפעילה מערך איכותי של תמיכה המתבטא במדריך למשתמש, סרטוני הדרכה, פורום פעיל ותמיכה טכנית. כל אלו מאפשרים הנגשה ממשית לתחום ההדמיות התרמיות.

יחד עם זאת, קיימת ביקורת על תוצאות החישובים האנרגטיים של התוכנה והשלכותיהן על בנייה בכלל ובידוד בפרט. בגישתו התפקודית של התקן התוכנה מאפשרת לקבל ציונים גבוהים ע"י התקנת אמצעים אקטיביים בדירות כגון מאווררי תקרה. מה שמאפשר לעמוד בדרישות ת"י 5282 בעוד המעטפת אינה מבודדת. ההסתמכות על אמצעים אלו בעייתית מאחר ולא ניתן להבטיח כלל שהדיירים יפעילו את המאווררים הנ"ל (יעדיפו את המזגן על פני המאוורר) ואף ינטרלו אותם (יפרקו את המאוורר מסיבות אסתטיות או אחרות). כך שאמצעים פאסיביים (כגון בידוד) נמצאים בעמדת נחיתות, אף על פי היותם קבועים במבנה.

היבט רלוונטי נוסף, הקיים בבנייה רוויה למגורים, הוא בחלונות fully glazed המאפשרים פתיחה מלאה. בבנייה לגובה התוכנה תוביל לציון גבוה עקב הנוחות התרמית מן האוויר החודר לדירה, יחד עם זאת התוכנה מתעלמת מכך שבגבהים בהם מהירות הרוח עולה על 5 מטר לשנייה נוצרת אי נוחות מכאנית שתמנע מן הדיירים לפתוח כלל את החלון.

קושי נוסף נובע מהנחת מוטעית שת"י 5282 מחמיר יותר ביחס לת"י 1045 ( שהיא דרישת החוק לעומת ת"י 5282 האמור לייצג דרגה גבוהה יותר של תקינה). כתוצאה מכך מבנה אשר עומד בת"י 5282 לא בהכרח יבדק לעמידה בת"י 1045. הדבר מטעה מאחר ולאור חוסר התיאום בין שני התקנים ואופן בדיקתם. עמידה בת"י 5282 אינה מבטיחה עמידה בת"י 1045, בניין עשוי לקבל דירוג אנרגטי גבוה בת"י 5282 בגישתו התפקודית בעוד רמת הבידוד בקירות נמוכה מדרישות ת"י 1045.

דוגמא נוספת הנוגעת להיעדר סינכרון תקינה הוא פיתוח ת"י 5280 המשכפל חלקים מת"י 5282 בעוד לא ברור מה יהיה היחס בין השניים בהמשך.

#### ד. אכיפת תקנות ורגולציה:

על אף היותו של ת"י 1045 מחייב ע"פ חוק, לרוב לא מתבצעת בדיקה בפועל על איכות יישומו. הנוהג הוא הגשת תצהירים אשר אינם תמיד אמינים בין אם מטעמי חוסר ידע או חוסר מקצועיות. היעדר בקרה מוביל להיעדר יישום וזאת להבדיל מהיבטים שונים בתחום הבנייה, כגון חישובים סטטיים, אשר נבדקים (באופן אקראי לכל הפחות) במידת רצינות גבוהה יותר. כתוצאה מכך קבלת טופס 4 (אישור אכלוס) ע"י הרשויות אינו מעיד על עמידת המבנה בדרישות הבידוד.

להבדיל, העמידה בדרישות הבידוד של ת"י 5281 ות"י 5282 נבדקים ומיושמים, בעיקר לאור מעורבות מכן התקנים כגוף חיצוני המוודא את קיום הבידוד בתוכניות (שלב א) ואת ההתאמה בין התכניות לבין הבנייה בשטח (שלב ב).<sup>55</sup> יחד עם זאת גם במבנים העומדים בת"י 5281 העמידה בדרישות הבידוד אינן וודאיות או לקויות כפי שצוין בפרק זה.

<sup>55</sup> על מנת לקבוע את כמות הניקוד של בניין השואף להסמכה בתקן 5281 עליו לצבור 55 נקודות לפחות (או 40 נקודות במידה וזהו בניין קיים) קביעת הניקוד מתבצעת בשני שלבים: שלב א - הערכה של תכנון הבניין וסביבתו בגבולות

## סיכום חסמים בתחום תקינה והיבטים רגולטיביים:

- היעדר סנכרון וקיום כפילויות בין התקנים השונים העוסקים בבידוד תרמי (ת"י 1045, ת"י 5281, ת"י 5282, ת"י 5280)
- סתירות בין חוקים ותקנות. בעוד תקני בידוד תרמי יוצרים ביקוש, תקנים מקבילים (כגון תקנות האש) מגבילים אותו. היעדר יד מכוונת.
- היעדר חשיבה הוליסטית על תפקודו האנרגטי של הבניין בדרישות החוק (מבט צר על אלמנטים נפרדים במקום ראייה על נצילות אנרגטית של יחידות דיור ומבנים).
- קושי בעמידה בדרישות ת"י 1045 בנושא גשרי קור (חסם זה הוא למעשה סימפטום של חוסר תיאום עם הפרקטיקה).
- בקרה חלקית ולקויה של תקנות הבידוד התרמי.
- הזנחת היבט ההתייעלות האנרגטית בבנייה צמודת קרקע (עקב אי התייחסות בת"י 5281).
- מגבלות מידול בתכנת ENERGY ui אליה יש הפנייה מת"י 5281 ות"י 5282 (יש לציין כי מגבלות אלו נכונות לזמן כתיבת המסמך וכי ישנם השקעה ומאמץ משמעותיים ומבורכים לתיקון ושיפור המערכת).

## **4.2 חסמים תלויי מידע וידע מקצועי**

נטרול חסמי מידע וידע מקצועי הינם נקודות מפתח ליישום הבידוד בישראל. הקונצנזוס בקרב המרואיינים למחקר זה היה כי:

- 1) קיים חוסר בידע מקצועי לתכנון לפי דרישות החוק והתקינה.
  - 2) קיימים פערי ידע בקרב הרשויות אשר מונעים בקרה אפקטיבית לעמידה בדרישות.
  - 3) קיימים פערי ידע ויכולת ליישום בפועל של חתכי קיר מבודדים בשוק הבנייה.
- שלושת חסמים אלו מצויים לכל אורך שרשרת התכנון, הביצוע והפיקוח של המבנים בישראל. הם תלויים זה בזה כך שללא ידע מקצועי לא תיתכן בקרה וללא בקרה לא יתקיים יישום בפועל. אל הערפול הקיים בקרב אנשי המקצוע ניתן לצרף את חוסר המודעות המוחלט של הציבור בנוגע לתועלת הבידוד, ועקב כך להיעדר ביקושים "מלמטה". הציבור אינו מודע לנושא ולכן אינו דורש או אינו יודע מה לדרוש.

### **א. מודעות בקרב ציבור הצרכנים:**

אחת הסיבות אשר עשויות להבהיר מדוע הציבור אינו מודע לחשיבות הנושא נובעת מכך שהבידוד (כמו גם האיטום) בלתי נראה לצרכן. הביטוי "רחוק מהעין, רחוק מהכיס" חזר ע"י מספר מרואיינים לעבודה זו. רכישת דירה הינה לעיתים קרובות הרכישה המשמעותית ביותר שתעשה משפחה ישראלית, יחד עם זאת רוב צרכני הקצה בוחנים את הדירות על פי מראה עיניים. הבידוד, מתוקף היותו חלק מן הקיר, נסתר מעיני הציבור

הפיזיים של היתר הבנייה, לרבות תשתיות משותפות הרלוונטיות להיתר הבנייה, תוך שימוש בתוכניות עבודה, מפרטים טכניים והיתרי בנייה. שלב זה נערך בדרך כלל לפני התחלת הבנייה באתר. התוצאה תהיה דירוג זמני של הבניין. שלב ב - הערכה של הבניין הגמור, שמטרתה לאשר את הדירוג שהתקבל בשלב א, כלומר לאשר שעבודות הבנייה והפיתוח בוצעו לפי התכנון. התוצאה תהיה דירוג ניקוד המתבטא במס' כוכבים להם הבניין זכאי.

ולכן אינו מצוי בתודעה הציבורית כחלק בלתי נפרד מן המבנה. בנוסף, הציבור אינו מסוגל לכמת את תועלת הבידוד מאחר והיא אינה מיידית. ללא הבנת התועלות הכלכליות שבבידוד, לא תתקיים דרישה ליישמו מטעם הצרכנים.

בנקודה זו קיים גם כשל מצד של אנשי המקצוע עימם בא הציבור במגע. במקרה שבו הצרכן בונה בית פרטי, האדריכלים או ההנדסאים המפיקים עבורו תכניות אינם מתייחסים בד"כ לבידוד, או שאינם מסוגלים להסביר את יתרונותיו. במקרים אלו המבנה יבודד רק במידה והקבלן יבצע זאת מיוזמתו לצורך עמידה בחוק<sup>56</sup>.

במקרה שבו צרכן הקצה רוכש דירה קיימת, אין בידו הכלים להעריך את איכות הבנייה והחומרים מהם מורכב חתך הקיר. צרכן הקצה יתמקד בפרמטרים נראים לעין ועל פיהן ישפוט את איכות הדירה. הבידוד אינו ממותג ולא קיימת הדרכה לצרכן הקצה לבקשו.

### ב. התנהגות הצרכן בדירה מבודדת:

גם במקרים שבהם הצרכן רוכש דירה מבודדת (במבנה העומד בדרישות החוק או בדרישות ת"י 5281 לבנייה ירוקה), אין באפשרות להעריך את איכות הבידוד. (למשל, יישום לא מקצועי של מוצרי קלקר עשוי לגרום לסדקים ובועות בחתך הקיר) במקרים אלו הסכנה היא כפולה. הצרכן יניח כי המבנה מבודד כאשר בפועל לא כך הדבר. מקרים מסוג אלו יכולים לגרום להיעדר אמון צרכני בצורך בבידוד.

במידה ואכן המבנה מבודד, ואף מעבר לכך מוגדר כמבנה ירוק, עשויה להתרחש תופעת ה rebound effect. תופעה זו מתרחשת כאשר הצרכן מודע לכך שרכש מוצר יעיל יותר אנרגטית ולכן חש נוח להתנהג באופן בזבזני. (לדוגמא, במידה ורכש רכב בעל צריכת דלק נמוכה לק"מ, בעליו יחוש בנוח לנהוג למרחקים ארוכים יותר אשר בפועל יגרמו לו לבזבז יותר דלק מאשר לו היה נוהג ברכב בעל צריכת דלק גבוהה). אנו רואים כי התנהגות הצרכן היא קריטית. במידה והצרכן אינו יודע כיצד להשתמש במבנה, גם בידוד איכותי הוא חסר ערך. הצרכן עשוי להשתמש במזגן ללא הגבלה בחלונות פתוחים ובכך הופך את ההשקעה בבידוד לחסרת משמעות. במשרדים לדוגמא הנושא פחות קריטי מאחר וניתן להעצים את המשתמשים במבנה להתנהגות חסכונית. קיים אינטרס מובהק מטעם בעלי המשרד לבצע זאת לאור החיסכון הכספי. במבני מגורים לעומת זאת לא קיימת הכשרה שכזו. (במבנים העומדים בת"י 5281 הדיירים עשויים לקבל מדריך למשתמש במבנה. לא ידוע עד כמה מדריך זה אפקטיבי וכמה מן הדיירים אכן מעיינים בו או זוכרים את תוכנו). כך נוצר אבסורד ביחס הפוך בין עלות הדירה (המוצר היקר ביותר שהצרכן הממוצע רוכש) לבין הידע המועט לשימוש אופטימלי בדירה. בנוסף לאלו, קיימים חסמים תרבותיים המאפיינים את הצרכן הישראלי, הרצון לנפח, לחלונות גדולים, החיבה לחלונות פתוחים ולמ"ר גבוה, כל אלו מוגדרים בתרבות הדיור הישראלי כמאפיינים מובהקים לאיכות חיים, למרות שלכ"א מהם ישנן השלכות על הצריכה האנרגטית של המבנה. הצרכן הישראלי לא מודע לכך שלדרישות אלו ישנן השלכות על חשבון החשמל החודשי וכי קיים trade off לכל החלטה.

<sup>56</sup> יש לזכור כי בבנייה פרטית צמודת קרקע, להבדיל ממבני מגורים בבנייה רוויה, לא קיים ת"י 5281 לבנייה בת קיימא. לכן נושא הבידוד מקבל אף פחות תשומת לב בנייה צמודת קרקע מאשר רוויה ובידוד יקודם רק במידה והאדריכל מקדם את הנושא ו/או לקוח הקצה מסכים לשלם ו/או חקר באופן עצמאי והבין את חשיבות הנושא.

### ג. מודעות וידע מקצועי בקרב אנשי המקצוע:

מבנה אינו נוצר ע"י בעל מקצוע אחד. ישנה שרשרת ארוכה של אנשי מקצוע המעורבים במלאכת התכנון. חלקם מלווים את הבנייה מתחילתה ועד סופה, חלקם משתתפים בחלק נקודתי בתהליך ואינם נראים עוד. את הידע המקצועי בשרשרת זו ניתן כאמור לחלק לשלושה חלקים:

- (1) ידע תכנוני
- (2) ידע ביישום
- (3) ידע לבדיקה ופיקוח

בשלושת שלבים אלו ישנו מחסור בהבנה בסיסית של תחום הבידוד או חוסר נכונות לקחת אחריות על תחום זה. ולא קיימת חלוקת תפקידים ברורה וחד משמעית בנוגע לאחריות ליישום דרישות החוק. החוסר קיים בכל רמות הידע: באדריכלים, מהנדסים, מנהלי הפרויקטים, אגפי רכש בחברות בנייה, מחלקות הרישוי והביצוע בפועל. הפיקוח על יישום הידע לקוי והדבר מתבטא באיכות הבנייה (כפי שציין מראשין לעבודה זו "בידוד הוא החלק הנסתר בקיר ולכן קל מאוד לחפף").



תרשים 11 : התלות ההדדית בין ידע, בקרה ליישום

לפי שיחות שבוצעו עם בודקי תכניות ברשויות מקומיות ניתן להסיק כי רק מן חלק מן האדריכלים, המהנדסים וההנדסאים מתכננים בהתאמה לדרישות החוק. רוב בעלי מקצוע אינם מעוניינים לקחת אחריות על הנושא. תכנון המבנה הוא נקודת כשל עיקרית מאחר ובניית המבנה מתבצעת בד"כ ע"פ התכנית המוגשת ולא לפי החוק או התקן.

מנהל עבודה ופקחים באתרי בנייה אמורים להכיר את דרישות החוק על מנת לוודא שהמבנה תוכנן כראוי (ובמידה ולא, לשנות זאת) אך הדבר אינו מתבצע בפועל כך שתכנון לקוי יתקבע לכל אורך התהליך ועד לגמר הבנייה.

מנקודת מבטם של מרבית האדריכלים בשוק אשר עוסקים בתכנון, בתוכניות בנין עיר (תב"ע), בחוק התכנון והבנייה ובהיבטים אסתטיים, אין בידם הכלים, המודעות והידע לבצע חישוב תרמי בנוסף לכל אלו. זוהי נקודת מבט בעייתית מאחר וגם מבנה המתוכנן באופן איכותי אך מבודד באופן חלקי מהווה בעיה אנרגטית עבור הדייר. כאן עולה גם הצורך בתכנון אינטגרטיבי, הכולל בתוכו הן תכנון טוב והן התייחסות לכלל מעטפת המבנה (ובכלל זה לא רק הבידוד).

יועצי איטום, המהווים נקודה קריטית נוספת בשרשרת, אינם מחויבים לעסוק בבידוד וחלקם אינו עושה זאת מטעמי חוסר אכיפת הנושא. מן הראינות עם קבלנים ואדריכלים לעבודה זו צוין כי קיימת תחושה שאין "הורה" לתחום הבידוד, וזאת להבדיל מתחום האיטום שהוא מוסדר ומאורגן יותר. מתוקף זאת, ישנו חוסר מהותי באנשי מקצוע המתמחים בבידוד.

החשיבה התכנונית השולטת כיום בישראל מעודדת אקלום ע"י מיזוג. הנחת היסוד היא כי אמצעים אקטיביים טכנולוגיים יכולים לספק את כל צרכי המשתמש וזאת תוך כדי התעלמות מהעלות האנרגטית, הסביבתית והבריאותית למשק ולצרכני הקצה. התלות במזגן מוביל להיותו צרכן החשמל במוביל בבתי אב בישראל (35% מסך צריכת האנרגיה<sup>57</sup>). זוהי אינה גזירת גורל שנחתה עלינו לאור השמש הישראלית הקופחת אלא בין היתר פועל יוצא של תכנון לקוי.

#### ד. היעדר ידע ברשויות, ללא ידע אין בקרה:

קושי נוסף נובע מחוסר היכולת לשפוט את הידע הקיים. חישובי בידוד המוגשים לרשויות מקומיות לבדיקה לא נבדקים בפועל מאחד ולא קיים ידע לשיפוט איכות החישובים. בפועל, מהנדסים ויועצי בידוד עשויים להגיש חישובים שאין להם אחיזה במציאות וחישובים אלו יאושרו ע"י הרשות שחסרה בידע לוודא את אמיתות הנתונים.<sup>58</sup>

הקונצנזוס בקרב המרואיינים לעבודה זו הוא כי קיים ערפול ברשויות המקומיות בנוגע להבנת דרישות וחישוב הבידוד (הן לפי ת"י 1045 והן לפי ת"י 5282). ישנה אי וודאות בנוגע לגורם האמור לבדוק את חישובי 1045, מהם החישובים שיש להגיש, כיצד יש לקרוא אותם וכיצד יש לבדוק אותם (יש לציין כי זהו אינו המצב בכל הרשויות). בהיעדר יכולת לבדוק את תוכן החישובים תוצר הלוואי הוא הרצון לסמן אישור על עצם קבלת המידע ולא על איכותו. במסגרת עבודה זו אף תוארו מקרים בהם התגלו באקראי חישובים לא נכונים או חישובים שהוגשו למבנים הלא נכונים. יש לציין כי היעדר הידע משליך על טיב הפיקוח וללא פיקוח אין בקרה. לאור העובדה כי דרישות ת"י 1045 מעוגנות ע"פ חוק, ניתן להעריך בבטחה כי מס' עצום של מבנים אינם עומדים בדרישות החוק לאור היעדר ידע ברשויות המקומיות למרות שהונפק להם אישור אכלוס (טופס 4).

ניתן לבחון את רמת הידע והבדיקה ביחס לרמת ההקפדה בבדיקת המרחבים המוגנים (ממ"דים). תהליך אישור הממ"ד כולל סט דרישות: אישור פיקוד העורף (אישור הג"א), בדיקת צינורות אורור, דלתות הדף וחלונות ועוד, המתבצעות ע"י מעבדות מאושרות ממכון התקנים. מידת ההקפדה בתהליך זה היא גבוהה והנושא השתרש היטב במנגנון העבודה של קבלת טופס 4. הדבר מעיד על כך שהיכולת להקפיד על אכיפת נושא מורכב קיימת בתהליכי הבדיקה של הרשויות.

בהקשר זה יש לציין את השינוי הצפוי במסלולי הרישוי ע"י הפרטה של חלקים מהליך הרישוי וקבלת ההיתר והעברתו למכונים חיצוניים. כוונת הרפורמה היא לייצר גוף ידע שיעסיק אנשי מקצוע מתחומי הבנייה אשר יקבלו

<sup>57</sup> דו"ח וועדת שני, משרד האוצר, 2011.

<sup>58</sup> במהלך עבודה זו אף תוארו מקרים בהם הוגשו לרשויות חישובים פיקטיביים במודע, מתוך ידיעה שלא יבדקו. תוארו גם מקרים שבהם תוכנן רק קיר אחד מבודד מתוך כלל קירות הדירה או מקרים בהם לא בוצע בידוד פנימי בין חללים ממוזגים ולא ממוזגים בפנים במבנה (ע"פ דרישות החוק לפי תקן 1045). כך שגם יועצים תרמיים אינם בהכרח יודעים לספק פתרונות טובים וחישובים נכונים, בין אם במודע או בשוגג.



לידם את התוכניות לאחר אישור הרשויות המקומיות, ויבחנו את איכות התכנון והתאמתו לדרישות הרשות והחוק. תהליך זה עשוי לייצר שינוי באופן ההתייחסות לבדיקת הבידוד כיום.

בנוסף לכל אלו, היעדר הידע והמודעות ברשויות עשוי להוביל לקבלת החלטות המשפיעות על יישום הבידוד באופן עקיף. דוגמא לכך היא שיטת הבניה של חיפוי אבן בתלייה יבשה אותה רשויות מסוימות מחייבות מטעמים אסטטיים בעוד שיטה זו מונעת את התקנתו של בידוד חיצוני.

## ה. הכשרות לבעלי מקצוע

### הכשרות למקצועות הבנייה באוניברסיטאות:

נכון לכתיבת שורות אלו מרבית מוסדות הלימוד המכשירים את דור העתיד של מקצועות הבנייה מתייחסות לבידוד כהיבט בקורס או כקורס נפרד. לא קיימת דרישה במוסדות הלימוד לשלב את תחום הבידוד בפרוייקטי גמר של סטודנטים לתכנון (כפי שנושאים קריטיים נוספים אינם משוקללים בד"כ בפרוייקטי כגמר כגון בטיחות, קיימות, נגישות ועוד). פירוש הדבר הוא שדורות העתיד של מקצועות הבנייה נפגשים עם תחומים רבים מתוך הפרקטיקה המקצועית רק לאחר סיום לימודיהם. זהו אינו חסם משמעותי אך הוא מעיד על הניתוק הקיים לעיתים בין האקדמיה לתעשייה.

### הכשרות והסמכות מקצועיות:

אין הכשרות תקופתיות, מחייבות או מסודרות בנושא, קורסים וימי עיון עוברים "מפה לאוזן" ואינם מחייבים. ההסמכות הנדרשות הינן הן להבנת התקנים הרלוונטיים והן להבנת מערכות בידוד, טיח, חיפויים, התנגדות תרמית ויישומם בפועל. כמו כן, אין הסמכות מסודרות להבנת שיטות החישוב ומגוון תוכנות הסימולציה להדמיה תרמית וההבדל ביניהן. כתוצאה מכך ישנו מיעוט של אנשי מקצוע איכותיים. תוצרי הלוחי לכך מתבטאים גם בעלויות הבנייה הירוקה והבידוד (היעדר תחרות בתחום הייעוץ התרמי מעלה את עלויותיו) ואף אי וודאות בקרב יזמים וקבלנים מבצעים המתקשים להטמיע מוצרי בידוד חדשים שאין להם גושפנקא מקצועית. המרואיינים לעבודה זו ציינו כי ישנו צימאון גדול להכשרות מקצועיות וכן להסמכה מוסדרת ליועצים תרמיים<sup>59</sup>. הכשרות מסודרת חסרות גם למבצעי הבידוד בשטח, קונסטרוקטורים, אדריכלים, פועלי הבניין וכן למפקחים על הבנייה.

### סיכום חסמים תלויי מידע וידע מקצועי:

- חוסר מודעות לדרישות החוק בכל אורך שרשרת התכנון, הביצוע והפיקוח של המבנים בישראל.
- מחסור בידע מקצועי בנוגע לאופן שבו יש ליישם ולבדוק את דרישות החוק.
- היעדר ידע בקרב הציבור הנובע מחוסר ידע או חוסר מקצועיות של אנשי המקצוע עימם בא הציבור במגע. חסם זה נובע גם מהיות הבידוד החלק הנסתר במבנה (להבדיל מהיבטים אחרים כגון מטבח או תאורה אשר גלויים ומובנים ע"י הציבור).

<sup>59</sup> דוגמא לכך היא בימי עיון אותם מארגנת חברת כרמית מיסטר פיקס בנושא הבידוד, בהם מתקבל פידבק מהקהל כי ישנו צורך מהותי בהכשרות מסודרות לבעלי מקצוע ואיגוד הידע המקצועי באופן מסודר.

- יחס הפוך בין עלות הדירה (המוצר היקר ביותר שהצרכן הממוצע רוכש) לבין הידע המועט לשימוש אופטימלי בדירה. הצרכן אינו יודע כיצד להשתמש בדירות מבודדות (בין אם רק מבודדות או מוסמכות לדירה ירוקה בת"י 5281). הצרכן הישראלי נסמך על המזגן כמקור מרכזי לאקלום דירתו (הן בגלל התלות שפיתח והן לאור הנטייה המקצועית לתכנן מבנים ממוזגים וסגורים).
- היעדר ידע מקצועי או נכונות לקחת אחריות על תחום הבידוד בשלב התכנון, דבר המוביל לתכנון לקוי המחלחל לאורך שלבי הבנייה.
- חוסר באנשי מקצוע איכותיים המתמחים בבידוד (והבנת הצורך באנשי מקצוע אלו).
- חישובי בידוד והצהרות המוגשים לרשויות מקומיות לבדיקה לא נבדקים בפועל מאחר ולא קיים ידע לשיפוט איכות החישובים. בפועל, מהנדסים ויועצי בידוד עשויים להגיש חישובים שגויים או חלקיים ואלו יאושרו ע"י הרשות שחסרה בידע לוודא את אמיתות הנתונים. היעדר הידע והמודעות מובילים לחוסר כרוני בבדיקה ובקרה. (וזאת להבדיל מתחומים אחרים כגון מרחבים מוגנים הנבדקים היטב).
- היעדר אינטגרציה של ידע מקצועי בתחום הבידוד בהכשרות לאנשי מקצוע וכן בהכשרות במקצועות הבנייה באקדמיה.

### 4.3 היצע המוצרים והשיטות:

#### א. איכות מוצרי הבידוד:

תחום מוצרי הבידוד נטול פיקוח על איכות המוצרים. כתוצאה מכך קיימים בשוק מוצרים בעלי ערכי בידוד פיקטיביים או אלו המציגים נתונים לא מדויקים. במקרים אלו הסכנה הינה משולשת: 1) היזמים והקבלנים אינם יכולים לעמוד בדרישות החוק, למרות שרכשו מוצר שפורסם כבעל ערכים התואמים את ת"י 1045 2) צרכן הקצה עשוי לאבד את האמון במוצר או בעצם השימוש בבידוד 3) החיסכון הכספי צרכן והחיסכון האנרגטי למשק אינם באים לידי ביטוי. לנקודות אלו יש להוסיף את נושא בטיחות הבנייה, התפוררות מוצרים וכו'. בהיעדר מנגנון המוודא איכות הבידוד ואמיתות המידע קיים קושי לפקח על השוק.

ההתמודדות מול מוצרים אילו נדרשת ואף חיונית על מנת לייצר אמון בין מחזיקי העניין השונים (היצרנים, היזמים, הקבלנים, האדריכלים, המהנדסים וצרכני הקצה). עם זאת, נכון לכתיבת שורות אלו לא קיים מכון מסודר שיש ביכולתו לבחון באופן חד משמעי ערכי בידוד של מוצר. גם במידה ומעבדה כזו תקום, לא קיים מנגנון מוסדר המחייב בדיקה והשוואה של המוצרים, ההתנגדות התרמית שלהם ועמידותם. יש לציין כי ע"פ ראיון שנעשה במסגרת עבודה זו עם אדר' סיגל רוזנפלד - רכזת תקינה לבנייה בת-קיימה במכון התקנים הישראלי, תקן לבדיקת מוצרי בידוד נמצא בתכניות העבודה של מכון התקנים הישראלי לשנת 2015.

בהקשר זה יש גם לזכור את נושא חסמי הכניסה לקבלת תקנים ירוקים. יצרנים קטנים ובינוניים שרואיניו לעבודה זו ציינו כי עלויות להסמכה מוצר לתו הירוק<sup>60</sup> הינם גבוהים יחסית. כתוצאה מכך קיימים בשוק מוצרים איכותיים אשר נמנעים מלקבל הסמכה לתו הירוק מסיבות כספיות בלבד. יש לוודא כי חסם זה לא יהיה משמעותי בתקן העתידי למוצרי בידוד.

<sup>60</sup> התו ירוק, המוענק בשיתוף מכון התקנים הישראלי והמשרד להגנת הסביבה, מעיד על כך שפגיעתו של המוצר או השירות בסביבה פחותה.

## ב. מחזור החיים של מוצרי הבידוד:

הבידוד הינו אמצעי להשגת חסכון אנרגטי, עם זאת יש לזכור כי לתהליכי הייצור של חומרי הבידוד, השינוע והבנייה ישנן מחירים סביבתיים ואנרגטיים. יש לוודא כי מחירים אלו קטנים מן החיסכון שנוצר כתוצאה מבידוד המבנים. מס' קטן של חברות בישראל אכן ביצעו מחקרי מחזור חיים של מוצרי בידוד (Life Cycle Assessment-LCA) או מקבילה להם. ניתן לציין את החברות תרמוקור ובלוקל רביד אשר ביצעו ניתוח LCA מקיפים שכללו התייחסות לאנרגיה הגלומה בתהליך הייצור ופוטנציאל פליטות הפחמן של המוצר בראייה כוללת של חומרי גלם, ייצור, שינוע, יישום באתר הבנייה, שימוש, תחזוקה וסיום שימוש. יש לציין גם את חברת איטונג, אשר מוצריה עומדים בתקן IBU הגרמני (מטעם איגוד מוצרי הבניין הידידותיים לסביבה) הבוחן את חיי המוצר – מתהליך ייצורו, דרך המוצרים המרכיבים אותו, המוצר הסופי, התקנתו בפועל, השימוש בו לאורך השנים והפינוי עם האפשרי עם סוף חיי המבנה. גישות אלו עדיין נדירות בשוק הבידוד הישראלי והן חשובות הן מטעמי בניית אמון ושקיפות מול הצרכנים והן על מנת שלא "יצא שכרנו בהפסדנו" והתועלת מן הבידוד תעלה על הנזק שבהפקתו. על מנת להפוך תהליך זה לסטנדרט בשוק נדרש שינוי תפיסה מהותי, לא רק בשוק הבידוד אלא בכלל תחום מוצרי הצריכה בישראל.

## ג. שמרנות בהטמעת מוצרים חדשים:

היעדרו של גוף המוודא את איכות ובטיחות המוצרים מקשה על יזמים וקבלנים להטמיע במפרטים מוצרי בידוד חדשים. הדעות בקרב המרואיינים לעבודה זו היו כי ישנו היצע משמעותי של מוצרי בידוד איכותיים בישראל וכי כמות המוצרים אינה חסם בעת זו. יחד עם זאת ריבוי המוצרים ומיעוט הפיקוח יוצר היסוס בקרב יזמים וקבלנים אשר מתקשים להעריך מהם היתרונות והחסרונות של מוצרים חדשים המתווספים לשוק ולכן נמנעים מלמוד וליישם אותם. לדברי קבלנים שרואיינו לעבודה זו, בתחומי בנייה שונים, כגון איטום, קיימת פעילות ענפה יותר של יצירת גוף ידע המתייחס למוצרים השונים והשימוש בהם. היבט זה מדגיש את הצורך בגוף אחראי שיוודא את איכות מוצרי הבידוד ויפיק מידע נגיש ואמין בנושא. בנוסף, ישנה נטייה בענף הבנייה לבחור באלטרנטיבות "מוכרות", זאת בעיקר מאחר והיזמים אינם נהנים מן החיסכון המופק מבידוד במבני מגורים לאורך זמן הדבר מהווה מחסום משמעותי להטמעת מוצרים חדשים או מתקדמים מאחר והיזם אינו נהנה מן התועלות שבחידוש. חסם נוסף נובע עקב חוסר רצון להשקיע זמן ולימוד בהטמעה של מרכיב חדש או קושי בשינוי הסכמים עם ספקים.

## סיכום חסמים בתחום היצע המוצרים והשיטות:

- היעדר תקינה לפיקוח על איכות מוצרי הבידוד (וכתוצאה מכך, השוק חשוף למוצרים באיכות נמוכה שהתנגדות התרמית ועמידותם לא נבדקה ע"י גורם מוסמך).
- קבלנים חוששים שיעשו עליהם ניסויים עם מוצרים לא מוכחים, תחושה המתחזקת בהיעדר מנגנון המוודא את איכות ובטיחות מוצרי הבידוד (כתוצאה מכך מעדיפים להשקיע במערכות אקטיביות ולא בבידוד)
- חסמי כניסה לקבלת תו ירוק ליצרנים קטנים.
- היעדר מחקרי LCA המשווים בין אלטרנטיבות בידוד שונות ומייחסות לאנרגיה הגלומה בתהליך הייצור ופוטנציאל פליטות הפחמן של המוצר וראייה כוללת של חומרי גלם, ייצור, שינוע, שימוש וסוף חיי מוצר. היעדר מחקרים אלו מקשה על הבהרה חד משמעית של תועלת מוצרי הבידוד. היעדר ידע זה משפיע גם על חוסר מודעות בנושא תחזוקת בידוד המבנים ובלאי החומרי הטבעי של מוצרי הבידוד (מתי ואיך האפקטיביות של מערכות הבידוד יורדות ומה הן נקודות התורפה שלהן)

- שמרנות וחוסר נכונות בקרב קבלנים ויזמים להטמיע מוצרי בידוד חדשים (מסיבות כלכליות, מטעמי נוחות והסתגלות ל"מוכר וידוע" ומחוסר רצון לשנות הסכמים עם ספקים).

#### 4.4 חסמים תלויי שוק הבנייה ועלויות:

##### א. איכות הבנייה בישראל:

תחום הבנייה מצוי במצב של אי אמון בין קבלנים לצרכנים הנובע מהתפיסה הציבורית בנוגע לאיכות הבנייה. קריסת המרפסות בפרויקט פארק חדרה של גינדי השקעות עקב ליקויי בנייה בדצמבר 2013 ותביעות בעלי הדירות לאחר מכן הן רק ביטוי אחד לכך. מחקר של פרופ' יחיאל רוזנפלד, ראש התוכנית לניהול הבנייה בטכניון וד"ר חנן בן עוז<sup>61</sup> מעיד על עומק השבר. המחקר טוען כי גם בנייה ע"פ החוקים והתקנות אינה מבטיחה בנייה איכותית וכתוצאה מכך נפגע אמון הציבור בענף.

המחקר גילה כי המפקחים מטעם היזמים כמעט לא מגלים את ליקויי הבנייה (3% מהם בלבד), בעוד שהדיירים, מזהים כ- 20% מהליקויים לאחר קבלת המפתח.

הבעיה המרכזית שאתרו רוזנפלד ובר עוז היא כוח האדם לא מיומן שפועל בתחום. מרבית העובדים אינם עוברים הכשרה מסודרת ומאורגנת לעבודת הבנייה. הלימוד בפועל מתבצע תוך כדי הבנייה עצמה תוך כדי שכפול טעויות מפועלים אחרים ויצירת טעויות חדשות. חילופי כוח האדם התדירים בענף הבנייה מונע בסופו של דבר את התמקצעות הפועלים. לאור נתון זה, עולה חשיבותם הקריטית של מפקחי הבנייה אך תחום אחריותם בפועל נוגע יותר להיבטים עסקיים כגון עמידה בלוחות זמנים ובקרה על כמויות חומרי הבניין שנכנסות לאתר הבנייה.

בעיות אלו מעידות על הרקע המקצועי המשליך על תעשיית הבידוד, הן ברמת היעדר פיקוח ובקרה על ענף הבנייה והן ברמת היישום באתר הבנייה. ע"פ המחקר רק 2% מן הליקויים הבנייה נובעים מחומרי גלם באיכות ירודה לעומת כ-45% הנובעים משיטות בנייה רשלניות והיעדר פיקוח ו 34% נובעים מהיעדר הכשרה בכוח האדם המבצע. בניין מבודד היטב הוא חלק ממערכת כוללת של חלונות, דלתות, איטום וכו', איכות החיבור ביניהם חשובה לא פחות מאיכותו של כל מרכיב בנפרד. היעדר ראייה מערכתית בענף הבנייה פוגע בתועלת האפשרית של הבידוד למשק ולדייר. התפיסה הנוכחית רואה במבנה אוסף של מוצרים ואינה מכירה במורכבות ובתועלת התכנון המשולב. התעשייה רואה בבידוד אחד מאוסף אלמנטים רבים ולא חלק מתכנון מערכתי לשיפור הנצילות האנרגטית של המבנים.

##### ב. עלויות וכשל שוק – מהקבלן לצרכן:

להבדיל מבנייני משרדים, ציבור וחינוך, בהם לעיתים קרובות היזם נהנה ומרוויח מהחיסכון השוטף שבהטמעת מרכיבי בידוד, לא כך הדבר במבני מגורים. החיסכון האנרגטי מתגלגל לפתחם של צרכן הקצה ושל המשק אך לא ליזם עצמו אשר השקיע במרכיבים אך אינו זוכה בפרמיה על החיסכון הכלכלי. מדיניות הממשלה<sup>62</sup> בנוגע לבנייה

<sup>61</sup> זיהוי וניתוח של גורמי שורשיים לליקויי בנייה בביצוע של פרויקטי מגורים, יחיאל רוזנפלד, חנן בן-עוז, הטכניון, 2010.

<sup>62</sup> ע"פ שיחה עם יהונתן אלעזר, הממונה על הבנייה הירוקה במשרד להגנת הסביבה, מאי 2014

ירוקה יוצאת מנקודת הנחה כי הבנייה הירוקה משתלמת והשוק בסופו של דבר ינרמל את עלויותיה, הנחה זו מסתמכת על היתרונות הכלכליים והחזר ההשקעה ממרכיבי הבנייה הירוקה והם כאמור רלוונטיים כאשר קיים קשר מתמשך בין יזם הבנייה למשתמשים במבנה. מסיבה זו מבני מגורים נמצאים בעמדת נחיתות לעומת מבני משרדים והמוטיבציה בקרב יזמים וקבלנים להטמיע מרכיבי בידוד אפקטיביים קטנה יותר. (כדברי אחד מן המרואיינים לעבודה זו "הקבלן שואל: למה לי? מה אני מרוויח מזה?"). האמצעים ליצירת שינוי שוק יכולים להתמקד בכלי חקיקה ארצית או מקומית (כגון ת"י 1045 ואימוץ ת"י 5281 ע"י ערי פורום ה-15) כפי שנעשה עד כה אך היעדר פיקוח עלול להפוך חקיקה זו לרכה; נושא סבסוד חלק ממרכיבי הבנייה הירוקה עלה מס' פעמים בראיונות מחקר זה בתור חלק חסר ביצירת השינוי בשוק הבנייה.

בהקשר זה יש לבחון מהם חסמי העלויות הממשיים. ניתוח שנעשה במסגרת מחקר עלויות בנייה ירוקה למבני מגורים<sup>63</sup> בחן את העלויות הנובעות מן העמידה בתקנים התרמיים בבנייני מגורים בישראל. מן ההשוואה עולה כי הבדל ההשקעה בעלויות רכיבי בידוד בין גרסתו המעודכנת לישנה של ת"י 1045 הינה 5,957 ₪ למבנה (כלומר 78 ₪ לדירה). הבדיקה נעשתה בין שני מבנים מגורים לבנייה רוויה. המחקר העלה כי ההבדל בין שתי הגרסאות הינו זניח. למעשה ההבדלים נובעים מההשקעה בבידוד תקרה עליונה וגג מרוצף, פירוש הדבר כי המשמעות הכלכלית של העלייה בדרישות ת"י 1045 הינה אלפי שקלים בודדים בלבד לבניין כולו. (בהקשר זה יש להזכיר את הטיפול בגשרי קור אשר יוביל לעלייה בעלויות).

לעומת זאת, העמידה בת"י 5281 מובילה להשקעה משמעותית יותר. מחקר עלויות הבנייה הירוקה בחן שני מבנים שונים. בניין 304 (נבנה בנס ציונה ע"י קבוצת חנן מור, הבניין מתנשא לגובה 28 מטר, יש בו 26 דירות ב-7 קומות) ובניין 1 (נבנה בנתניה על-ידי קבוצת שיכון ובינוי נדל"ן הבניין מתנשא לגובה 73 מ', יש בו 76 דירות ב-20 קומות). טבלה 12 משווה בין סך העלויות והמרכיבים הנדרשים לקבלת ת"י 5281 בשני המבנים.

טבלה 12: השוואת עלויות עמידה ב ת"י 5281 בין בניין 304 לבניין 1<sup>64</sup>

נושא	בניין 304	בניין 1
סך עלות ההשקעה הנוספת לעומת בניין הייחוס (העומד בת"י 1045 לגרסת 2011)	₪ 685,991 (₪ 26,384 לדירה)	₪ 918,366 (₪ 12,084 לדירה)
עלות הבניין	17.5 מיליון ש"ח	45 מיליון ש"ח
שיעור ההשקעה הנוספת כאחוז מעלות הבניין	4.1%	2.1%
סעיפי ההשקעה המשמעותיים מתוך סך העלות הנוספת	קירות חיצוניים 18.4% (₪ 126,363) זיגוג 12.7% (₪ 86,828)	פיקוד מרכזי לתאורה ומיזוג 16.6% (₪ 152,000) קירות חיצוניים כולל ממ"ד 13.2% (₪ 121,544) מאווררי תיקרה 11.6% (₪ 106,400)
<b>חלקם היחסי של רכיבים שונים בעלות ההשקעה הנוספת (וכאחוז מעלות הבניין) לפי תקן 5281:</b>		
סך עלות רכיבי אנרגיה	57% (2.24%)	58% (1.18%)
סה"כ עלות רכיבי קרקע	3% (0.12%)	-1% (0%)
סה"כ עלות רכיבי המים	4% (0.17%)	0% (0%)

<sup>63</sup> עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל, חגי קוט וד"ר דוד כ"ץ, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה, ינואר 2013.

<sup>64</sup> העלויות ללא מע"מ אלא אם צוין אחרת

סה"כ עלות נושאים סביבתיים אחרים	5% (0.21%)	13% (0.26%)
סה"כ עלות רכיבי התרשמות מעריך	23% (0.89%)	23% (0.46%)
סה"כ עלות רכיבים נוספים	8% (0.29%)	7% (0.15%)
<b>חלקם היחסי של רכיבים פאסיביים ומערכות בעלות ההשקעה הנוספת (וכאחוז מעלות הבניין):</b>		
סה"כ עלות רכיבים פאסיביים (כולל גינה)	61% (2.40%)	48% (0.99%)
סה"כ עלות מערכות	31% (1.23%)	36% (0.73%)
סה"כ עלות רכיבים אחרים	8% (0.29%)	16% (0.32%)
<b>ההשקעות המשמעותיות ברכיבים פאסיביים (מתוך סך ההשקעות ברכיבים פאסיביים)</b>	קירות חיצוניים 31% זיגוג 21%	קירות חיצוניים כולל ממ"ד 26% ליווי יועצים ירוקים 11% זיגוג 10% פרגולות בקומות 19 ו 20 10%
<b>ההשקעות המשמעותיות במערכות (מתוך סך ההשקעות במערכות)</b>	מערכת סולארית 25% פיקוד מרכזי והכנה לבית חכם 22% שימוש במי עיבוי מזגנים להשקיה 14%	פיקוד מרכזי לתאורה ומיזוג 46% מאווררי תיקרה 33%

מן ניתוח עולה שיעור ההשקעה הנוספת כאחוז מעלות הבניין (4.1% בבניין 304 ו 2.1% בבניין 1 שהם כ- 26,000 ₪ לדירה בבניין 304 וכ- 12,000 ש"ח בבניין 1). בשני הבניינים נמצא כי הנדרשת השקעה בהרכב חתך הקירות החיצוניים ביחס לדרישות החוק (השקעה זו כוללת לא רק את הבידוד התרמי אלא גם מרכיבים אקוסטיים, איטום וכו'). ההשקעה הנוספת בקירות החיצוניים בבניין 304 הייתה 31% מסך הרכיבים הפאסיביים במבנה כלומר כ-0.75% מסך תוספת העלויות (כשכאמור תוספת העלויות הכוללת את סך המרכיבים במבנה היא 4.1%). ההשקעה הנוספת בקירות החיצוניים בבניין 1 (כולל ממ"ד) הייתה כ-26% מסך הרכיבים הפאסיביים בבניין, כלומר כ-0.26% מסך תוספת העלויות (כשכאמור תוספת העלויות הכוללת את סך המרכיבים במבנה היא 2.1%). תוספת אלו כוללת את ההשקעות בקירות החיצוניים אך לא את הזיגוג. ניתן להסביר את ההבדל העלויות בין שני המבנים השונים בכך שבניין 304 הינו בעלת צורת H אשר מגדילה את מעטפת הבניין (כלומר סך הקירות החיצוניים).

ממצאים אלו עולה כי עמידה בדרישות ת"י 5281 לקירות חיצוניים הוא מרכיב משמעותי בסך תוספת העלויות. מסיבה זו אכן קיים כשל שוק הדורש מן היזמים והקבלנים הבונים מבני מגורים העומדים בת"י 5281 לשאת בעלויות אשר החזר ההשקעה שלהם מתגלגל בעיקר לחיסכון כלכלי למשק ולדייר ולא לידי היזמים (אשר יכולים לגלם עלויות אלו במחיר הדירה).

עם זאת יש לזכור כי העלויות הנוספות נובעות ומשתנות ממערכת היחסים בין היזם לספק (חוזים, הזמנות עתידיות, גודל היזם וכו'), יכולת המשא ומתן של היזם עם הספק ומידת התחרויות במשק. ההערכה היא כי עלויות הבנייה הירוקה ינורמלו ויפחתו ככל שזו תהפוך לנפוצה וסטנדרטית יותר כמו כן עם פיתוח השוק, הגברת המקצוענות, הידע והיצע המוצרים והספקים (ובכללם שוק הבידוד).

העלויות שסוקרו בסעיף זה התייחסו למבנים חדשים אך בהקשר העלויות יש לזכור חסם נוסף שצוין בפרק הניתוח הכלכלי: עלויות retrofit למבנה קיים מספקת החזר השקעה שעשוי להימדד בין 11 ל-20 שנים. הצרכן

הישראלי אינו נוטה להשקיע סכומים גבוהים בדירה הנוגעים לפרקי זמן כה ארוכים. השקעות שהצרכן הישראלי מבצע לטווחים אלו בדירתו עשויים להיות שיפוץ מטבח, ריהוט, פרקט וכו', היבטים עיצוביים הגלויים לעין שניתן לקבל עליהם החזר השקעה במכירת הדירה. בידוד מבנה קיים מהווה מעמסה כלכלית על אוכלוסיות סוציאוקונומיות נמוכות שהן אלו המתגוררות במבנים בהם הבידוד יכול להשפיע במידה ניכרת, היבט זה מעיד על צורך מהותי בסבסוד בידוד מבנים קיימים וכן בחסרונם של מנגנונים כלכליים שיתמכו בכדאיות ה-retrofit.

#### סיכום חסמים תלויי עלויות ושוק הבנייה:

- חוסר אמון בין צרכני הקצה (הדיירים ורוכשי הדירות) לגורמים השונים בשוק הבנייה.
- מרבית העובדים בשוק הבניין אינם עוברים הכשרה מסודרת ומאורגנת לעבודת הבנייה. הלימוד בפועל מתבצע תוך כדי הבנייה עצמה תוך כדי שכפול טעויות מפועלים אחרים ויצירת טעויות חדשות. חילופי כוח האדם התדירים בענף הבנייה מונע בסופו של דבר את התמקצעות הפועלים. הדבר משליך ישירות על איכות הבנייה בכלל ויישום הבידוד בפרט.
- היעדר חשיבה אינטגרטיבית בבנייה. אנשי המקצוע עוסקים ברכיבים נקודתיים במבנה וכתוצאה מכך ישנו חוסר התייחסות על השילוב בין רכיבי הבנייה (ביניהם הבידוד) המתפקדים יחד להשגת נצילות אנרגטית של המבנה.
- להבדיל מבנייני משרדים וציבור, בהם לעיתים קרובות היזם נהנה ומרוויח מהחיסכון השוטף שבהטמעת מרכיבי בידוד, לא כך הדבר במבני מגורים, בהם היזם אינו נהנה משילוב מרכיבי חסכון אנרגטי במבנה.
- היעדר תכניות סבסוד לבניית מעטפת יעילה אנרגטית למבני מגורים או לביצוע retrofit של מבנים קיימים.
- היעדר יכולת כלכלית של הצרכן להשקיע ב-retrofit לאור זמן החזר ההשקעה הארוך. לכך ניתן להוסיף את היעדרם של מנגנונים כלכליים התומכים ב-retrofit.

## 5. הצעות להסרת החסמים, פתרונות, הזדמנויות

בחלק זה יבחנו צעדים לקידום שוק מוצרי בידוד מקומי מתקדם, מגוון ורחב, שיהווה מנוע צמיחה לכלכלת ישראל. החסמים שנסקרו ותומצתו בפרק הקודם עסקו בהיבטי תקינה ורגולציה, חסמי מידע וידע מקצועי, היצע המוצרים, שוק הבנייה והיבטים כספיים. למרות חלוקת החסמים לקטגוריות, ניכר כי הם קשורים זה לזה ומשפיעים זה על זה. הפתרונות המוצעים בפרק זה נבחנו ונבחרו על בסיס הפוטנציאל לבצע השפעה רוחבית על כל או רוב סוגי החסמים. חלק מן הפתרונות דורשים את התגייסות המדינה ומוסדות הרגולציה, חלק מן הפתרונות מוצעים כפעולה רוחבית של יצרני הבידוד בישראל וחלק מן הפתרונות מונחים כהצעות ליוזמות של מחזיקי העניין השונים מתחום הבנייה.

### 5.1 עקרונות לשוק בידוד בר קיימא:

מסקירת החסמים והניתוחים ניתן להתוות עקרונות להגדרת שוק בידוד איכותי ומשגשג:

- שוק שמקדם ומחבר ידע מקצועי, בקרה ויישום בפועל.
- שוק שבו קיים לובי חזק ליצרני בידוד המתמודד מול אתגרים משותפים ומביט על השוק בראיית על
- שוק שבו הבידוד מהווה מנוע צמיחה ותועלת למשק (ע"י חיסכון למשק, הוספת מקומות עבודה, הפחתת הזיהום ועוד).
- שוק שבו קיים סנכרון של כלל התקינה והחקיקה.
- שוק שבו הצרכן יודע לדרוש ולוודא בידוד איכותי.

כל אחד מעקרונות אלו מהווה מנוף השפעה לבניית שוק בידוד מתפתח. עקרונות אלו רוחביים ובעלי השפעה על מס' חסמים בו זמנית.

פרט ליצירת מנועי צמיחה, הדורשים סבסוד או השקעה, כל אחד מעקרונות אלו תלוי בכך שהמערכות הקיימות בישראל יתפקדו ע"פ דרישות החוק. פירוש הדבר ששינוי שוק הבידוד אינו תלוי רק בתקציבים אלא באופטימיזציה של המערכות הקיימות.

### 5.2 טיפול בפערי ידע מקצועי, בקרה ויישום בפועל:

ידע מקצועי, בקרה ויישום כרוכים זה בזה בקשרים עבותים. ללא ידע מקצועי לא תיתכן בקרה וללא בקרה לא יתקיים יישום איכותי באתרי הבנייה. ניתוח הנושא הראה כי קיים חוסר עמוק בהשכלה בתחום הבידוד בכלל שרשרת הבנייה וחלק ניכר מהמרוויינים לעבודה זו ציינו כי זהו אתגר מרכזי. לצורך התמודדות מול חוסר, של היעדר ידע ויכולת בדיקה, מוצעים שלשת הצעדים הבאים:

א. מנגנון לבדיקת והשלמת ידע מקצועי ברשויות המקומיות:



הרשויות הן צוואר בקבוק למתן טופס 4, היעדר הידע בקרב הדרגים המקצועיים ברשויות מאפשרות תכנון לקוי ומרוקן את כוחה של החקיקה. יש לייצר מנגנון אשר: (1) יבצע בדיקת ידע ברשות ובדרגים השונים של בודקי התכניות. מטרת הבדיקה היא לאבחן את רמת הידע הקיים (2) יקבע מהי ההכשרה הנדרשת לדרגים המקצועיים ברשות על מנת להגיע לרמת הידע הרצויה. כוחו של תהליך שכזה הוא בהתאמת ההכשרה לחסמי המידע המקצועי הנקודתיים של הרשות. תוצר הליך שכזה יאפשר לרשות לדרוש ולהבין את משמעותם של דו"חות תרמיים, את ההכשרה של החתום עליהם ולאמת את תוכנם כתנאי לקבלת טופס 4.

בדיקה ידע ברשות יכולה להתקיים באופן וולונטרי, בחסות משרד הפנים או ע"י גוף חיצוני כגון מכון התקנים, חברת ייעוץ או המועצה הישראלית לבנייה ירוקה. **בדיקת ידע זו צריכה להיות אף תנאי להקמת מכוני בדיקה, במידה ואלו מחליפים את הרשות בבדיקת תכניות.**

ב. הקמת מנגנון להכשרות מקצועות הבנייה הירוקה:  
מנגנון זה יכשיר בעלי תפקידים למקצועות שבהם קיים חלל בתחום הבנייה הירוקה. תחום היועצים התרמיים הוא דוגמה מובהקת לחוסר שכזה, הן היבט באיכות הידע והן בכמות האוחזים בו. המנגנון יכשיר יועצים תרמיים או יספק השלמות ליועצים הקיימים. בסוף ההכשרה יוענקו תעודות אשר יהווה אסמכתה מקצועית מקובלת ותו לאיכות מקצועית. דוגמה לקהלים נוספים אשר יוכלו ליהנות מהסמכה לייעוץ תרמי הם מלווי הבנייה הירוקה בישראל אשר קיבלו הכשרה ע"י מכון התקנים, אדריכלים, מהנדסים, מפקחי עבודה וכו'. בנוסף, הרחבת כמות בעלי ההכשרה לעיסוק בייעוץ תרמי תאפשר את הפחתת עלויות הבידוק התרמי, תרחיב את השוק לבעלי מקצוע שיוכלו לאשר את איכות מוצרי הבידוד ותוודא שהנושא התרמי אינו נזנח בשלבי הבנייה השונים.

ג. הקמת גוף בדיקה לאיכות הבנייה:  
פרט ליצירת ידע ומנגנונים לבדיקה ובקרה יש לוודא את איכות היישום. יש להקים גוף אשר יעסוק בבדיקות איכות הבנייה. גוף זה יכשיר מהנדסי איכות בנייה שיאתרו טעויות, ישמשו כמדריכים מקצועיים באתרי הבנייה ויוודאו עמידה בחוקים ובתקנות, ביניהם דרישות הבידוד. על גוף זה להיות חיצוני ובלתי תלוי אך בעל סמכות לבדוק כל מבנה בישראל. עלות ההסמכה וההפעלה של מהנדסי האיכות תחזיר את עצמה במניעת ליקויי בנייה, הפחתת עלויות תיקונים ומזעור תביעות דיירים. גוף זה יכול להיות חלק מרשות מקומית, מכון התקנים, משרד הבינוי והשיכון או אף כגוף הממומן ע"י חברות הבנייה, כל עוד הוא עצמאי ובעל מנדט להעמיד את איכות הבנייה בראש מעייניו.

### 5.3 בניית מנועי צמיחה למשק:

הסבירות שדייר ישקיע בבידוד ומעטפת באופן עצמאי נמוכה. היעדר יכולת להשקיע סכומים בהחזרי השקעה איטיים וכן היעדר וודאות בנוגע לשהות במקום המגורים לאורך זמן מונע מצרכני הקצה לקדם retrofit למבנים קיימים.

סעיפים 3.5 ו-3.6 במסמך זה הראו כי יישום תסריטים שונים של בידוד מבנים בישראל יוביל לחיסכון כספי ניכר במשק של מאות מיליוני שקלים לשנה וכן להורדת התחלואה (ע"י הפחתת הזיהום מן החשמל המיוצר), החיסכון הופך לכסף בידי האזרחים, אשר משקיעים אותו חזרה בצמיחה. סעיפים 3.2, 3.3 ו-3.4 הראו כי תכניות בידוד שונות בעולם הובילו להקמת מפעלים וליצירת אלפי מקומות עבודה (לדוגמא: יישום תכנית מקבילה לזו הקיימת

בתורכיה, בהתאמה לגודל המשק הישראלי, יכולה להוביל לכ-8,000 מקומות עבודה חדשים). לפיכך ההתייחסות הנכונה לקידום תכניות retrofit ו-בידוד הינה לא כסבסוד אלא כבניית מנוע צמיחה. תכניות בידוד ארציות מובילות ליתרונות למשק ויש להתייחס אליהם לא כהוצאה אלא כהשקעה החוזרת בצורת חיסכון למשק ולאזרחים, בריאות אזרחים, עליית התמ"ג, הגדלת מקומות תעסוקה ועוד.

השיח הכלכלי מכיר בהשקעות הציבוריות כאמצעי להאצת צמיחה, כפי שניתן ללמוד ממאמרו של סבר פלוצקר<sup>65</sup> המתייחס לתקציב המדינה עבור שנת 2015: "בתקציב 2015 מתוכננות השקעות ממשלתיות ב-22 מיליארד שקל לעומת השקעות ב-25 מיליארד שקל שתוכננו ל-2014. 3 מיליארד שקל פחות. זה הרבה. תקציבי הפיתוח לא זכו בעבר לתהודה תקשורתית כעת זה משתנה: מתחולל שינוי בגישת הכלכלנים בעולם להשקעות ממשלתיות. משלילה כמעט מוחלטת לחיבוק חם והעלאה על הנס. רוצים להיאבק בהאטה ובמיתון? שואלים הכלכלנים את הפוליטיקאים, ואחרי שמקבלים תשובה חיובים שולחים אותם להשקיע, להשקיע ולהשקיע. את חותמת הכשרות האחרונה לשימוש בהשקעה הממשלתית כמנוף לצמיחה העניקו הכלכלנים השמרנים מקרן המטבע הבינלאומית. במחקר מיוחד שהונח בפני משתתפי הכינוס השנתי של הקרן בווישינגטון<sup>66</sup>, בהם שרי אוצר והנגידים של הבנקים המרכזיים מכל העולם, קבעו הכלכלנים כי הרחבה ניכרת של השקעות ממשלה היא ממש תרופת פלא. גם מאיצה את הצמיחה וגם מקילה על עומס החובות, אף שכולה ממומנת באמצעות הנפקה של אגרות חוב ממשלתיות. המספרים מדהימים. תוספת חד שנתית להשקעה ציבורים בסדר גודל של 1% מהתוצר מאיצה את כל צמיחת המשק ב-2% כבר בשנה הראשונה וב-2.5% בחמש השנים הבאות. באותן השנים היא גם מקטינה את היחס בין החוב הממשלתי לתוצר ב-2% וגם גוררת אחריה גידול ניכר בהשקעות הפרטיות".

יתרון נוסף להשקעות בשוק הבידוד, בנוסף להיבטי הצמיחה, הוספת מקומות עבודה וחיסכון לאזרחים, הינו בהפחתת זיהום אוויר והנזקים הכספיים הנובעים מייצור חשמל (כאמור, 35% מסך צריכת החשמל הביתית מיועדת לצריכת מזגנים). ע"פ דו"ח ה-OECD<sup>67</sup> בנושא זיהום האוויר עולה כי אף על פי שישראל הצליחה להפחית את מספר המיתות ממחלות הקשורות בזיהום אוויר עדיין 2,500 בני אדם מתים בשנה עקב זיהום אוויר. נתונים אלו מעידים על כך שזיהום האוויר מהווה מפגע כלכלי כבד יותר מתאונות דרכים ואף מהמצב הביטחוני. ע"פ הערכות ה-OECD המשק הישראלי הפסיד 7.4 מיליארד דולר ב-2010 כתוצאה ממחלות הקשורות בזיהום אוויר. לפי הערכות המשרד להגנת הסביבה<sup>68</sup> העלויות החיצוניות של ייצור החשמל, כפי שמתבטאות בתחלואה ואיבוד פריון עבודה, הינם 9.58 אגורות לקוט"ש, כלומר על חסכון של אחד בייצור חשמל ישנו חסכון עלויות חיצוניות של כ-59-57 מיליון ש"ח בשנה. נקודות אלו מחדדות את הצורך בגיבוש מנגנונים כלכליים שונים שיניעו את שוק ה-retrofit כמנוע צמיחה.

<sup>65</sup> ממון שישי, ידיעות אחרונות, 24.10.2014.

<sup>66</sup> פלוצקר מתייחס למחקר IS IT TIME FOR AN INFRASTRUCTURE PUSH? THE MACROECONOMIC EFFECTS OF PUBLIC INVESTMENT שפורסם ב-World Economic Outlook report באוקטובר 2014, אותו ניתן לקרוא בלינק הבא: <http://www.imf.org/external/np/sec/pr/2014/pr14466.htm>

<sup>67</sup> OECD, The Cost of Air Pollution, 2014. אותו ניתן לקרוא בלינק הבא: [http://www.sviva.gov.il/English/env\\_topics/AirQuality/PollutionFromTransportation/Documents/The-Cost-of-Air-Pollution-OECD-Report-2014.pdf](http://www.sviva.gov.il/English/env_topics/AirQuality/PollutionFromTransportation/Documents/The-Cost-of-Air-Pollution-OECD-Report-2014.pdf)

<sup>68</sup> התכנית הלאומית לצמצום ומניעת זיהום אוויר, אגף איכות אוויר ושינוי אקלים, המשרד להגנת הסביבה, 2012.

## א. מנגנונים כלכליים למימון הטמעת בידוד במבני מגורים

מחקרם של ליאור שמואלי ודורי הרשגל, "מנגנונים כלכליים למימון הטמעת טכנולוגיות חסכוניות במבני מגורים"<sup>69</sup> בוחן את האלטרנטיבות הכלכליות למימון אשר עשויות להתאים לתכנית בידוד למשק הישראלי. מנגנונים אלו מתייחסים לעדיפות שיש לתת לשיפור מבנה שלם (לעומת דירות במבנה) וכן ממליצים לשלב תכניות בידוד בפרייקטים קיימים של שיפוץ חזיתות ומבנים המבוצעים בכל מקרה ולהטמעתם בבנייה רוויה (לשם הגדלת החיסכון) וכן עבור אוכלוסיות חלשות. המנגנונים שנסקרו במחקר הם:

### תכניות מענקים:

במסגרת תכניות אלו ינתנו מענקים להטמעת אמצעים חוסכי אנרגיה באוכלוסיות המצויות בחתך סוציאקונומי נמוך. תכנית מענקים כזו יכולה להתבצע בשיתוף פעולה רב משרדי (משרד הבינוי והשיכון, משרד האוצר, משרד הרווחה) אשר יקבע קריטריונים לזכאות למענק, סוגי המבנים המתאימים לקבלת מענק וכו'.

### תכניות למתן הלוואות וחבילת מימון מסובסדת:

תכניות אלו יוכלו להתאים לאוכלוסיות ממעמד סוציאקונומי גבוה ויכולים להתקיים במקביל לתכניות מענקים לבעלי מעמד סוציאקונומי נמוך. נקודת המפתח להלוואות אלו הוא שגובה ההחזר השנתי (החזר + ריבית, במידה יש) לא יעלה על גובה החיסכון הצפוי (כפי שיקבע ע"י סקר אנרגיה). הלוואות אלו יוכלו להינתן ע"י המדינה, רשויות מקומיות, תאגידים עירוניים וכו'.

את תכניות המענקים ניתן לשלב יחד או בנפרד עם תכניות הלוואות, יחד עם זאת ישנם צעדים מקדימים משלימים הנדרשים הן לתכניות המענקים והן לתכניות הלוואות:

- יצירת מאגר של סוקרי אנרגיה מוסמכים,
- יצירת מאגר של קבלני שיפוצים שיוסמכו בתיאום עם משרד הבינוי והשיכון ו/או משרד האנרגיה והמים. על רשימות מקצועיות אלו יש להכיל מחירונים המתייחסים לעלויות השיפוץ והסקר.
- שילוב האגודה לתרבות הדיור לצורך רכישה משותפת של חומרים או שיפוץ כולל לשכונות
- עידוד וועדי בתים להצטרף לתכנית הרלוונטית עבורם.
- ביצוע מסע הסברה למשקי הבית.

### יצירת מסגרת רגולטיבית תומכת לתכניות ייעודיות לרשויות ותאגידים עירוניים:

במסגרת זו הממשלה תייצר מסגרת רגולטיבית תומכת שתאפשר לרשויות ותאגידים עירוניים להעמיד אפשרות לאשראי לצורך סיוע בהטמעת התייעלות אנרגטית במבנים. יש לוודא כי תכניות אלו אינן גרעוניות וכי בכוכן להגביר את הפעילות הכלכלית במשק. מודל דומה פועל ע"י עיריית ת"א דרך "עזרה וביצרון בע"מ" (חברת בת לרשות). במסגרת זו החברה מציעה לדיירים הלוואות למימון ללא ריבית והצמדה.

<sup>69</sup> מנגנונים כלכליים למימון הטמעת טכנולוגיות חסכוניות במבני מגורים, ליאור שמואלי, דורי הרשגל, הוגש למשרד הבינוי והשיכון ולמשרד התשתיות הלאומיות, מאי 2014.

אפשרויות התמיכה הממשלתיות במגגנונים אלו יכול להתבצע ע"י עידוד רשויות להקים חברות עירוניות המנהלות פרויקטים של שיפוצי מבנים (בשיתוף משרד הפנים או משרד הבינוי והשיכון), העמדת אשראי בערבות המדינה עבור רשויות לתמיכה בשיפוצי מבנים, העמדת אשראי לתאגידים עירוניים המבצעים שיפוץ וחיזוק מבנים בתכניות קיימות והוספת היבטי בידוד קירות חיצוניים לשיפוצים אלו.

#### הגברת התמריץ המוצע במסגרת תמ"א 38 או תכניות פינוי בינוי:

הצעה זו קוראת לשלב במסגרת הפרויקטים להשבחת מבנים כנגד רעידות אדמה (תמ"א 38) או תכניות פינוי בינוי המבוצעות כיום במימון פרטי או ציבורי. פרויקטים אלו מתקיימים ממילא ולכן עלות השיפור האנרגטי/בידודי למבנים הללו נמוך ביחס לשיפוצים שיש ליזום מן היסוד. הטעמת השדרוג למבנים אלו יכול להתקיים ע"י חקיקה שתחייב כל פרויקט תמ"א 38 או פינוי בינוי להטמיע שדרוג אנרגטי כתנאי להיתר בנייה. אלטרנטיבה אחרת, סבירה יותר לאור הקושי הקיים ביישום חלק מפרויקטים אלו, היא מתן תמיכה ליזמים אשר יטמיעו בידוד תרמי של קירות פנימיים וחיצוניים (ואמצעי חיסכון אחרים). תמריצים אלו יכולים להתייחס לאזורים מסוימים (בין אם אזורי אקלים שבהם החיסכון משמעותי יותר או בין אם אזורים בהם ישנן שכבות סוציאקונומיות נמוכות) או סוגי מבנים מסוימים (בהם החיסכון ניכר יותר).

#### הטמעת חסכון אנרגטי בדיור הציבורי:

בישראל קיימים למעלה מ-70,000 דירות במסגרת הדיור הציבורי, דירות המושכרות לאוכלוסייה סוציאקונומית חלשה העומדת בתנאי זכאות של משרד הבינוי והשיכון. במסגרת זו אחראיות החברות הממשלתיות או ממשלתיות עירוניות לבצע שיפוצים בדירות. ניתן להרחיב חובה זו להשבחה אנרגטית בידודית של הדירות. הדבר דורש התאמה של המפרטים של משרד הבינוי והשיכון וכן השתתפות כלשהי במימון עלויות השדרוג.

#### יישום מנגנוני המימון באמצעות חברת החשמל:

אלטרנטיבה נוספת היא הטלת חובה על חברת החשמל להטמיע אמצעי חסכון אנרגטי כחלק מתנאי הרישיון (חברת החשמל פועלת ע"פ רישיון הנקבע ע"י הרשות לשירותים ציבוריים). פרט להתניה זו ניתן לממן תכניות בידוד בגין חריגות של פליטות מזהמי אוויר, בגין איחור בהתקנת אמצעים להפחתת פגיעה בסביבה וכן כתחליף לקנסות בגין הפרות שונות.

אלטרנטיבה נוספת בשיתוף חברת החשמל יכולה להיות מתן הלוואה לשדרוג אנרגטי של המבנה שתיגבה במסגרת חשבון החשמל של צרכנים. מנגנון זה מקל על תהליך הגבייה ומתאזן עם החיסכון לדייר.

בכל אלטרנטיבות אלו יש לוודא כי המנגנון לא יוביל לייקור תעריפי החשמל, מה שיעקר או יפחית את החיסכון לצרכן ולמשק.

תכניות המימון שנסקרו יכולות להיות מקבילות זו לזו או כחלופות זו לזו, המשותף להן הוא היותן מנועי צמיחה שבכוחם לקדם את המשק. יש לוודא כי קיים מנגנון ביקורת של יישום בפועל עבור כל תכניות אלו, על מנת לוודא את איכות העבודה, מוצרי הבידוד והגימור הסופי.

מנגנונים אלו כאמור מתייחסים לתכניות retrofit, יחד עם זאת יש לזכור את התועלת הכלכלית והסביבתית הנובעות מדגש על מבנים עכשוויים. כפי שצוין בסעיף 3.5 במחקר זה הוספת בידוד למבנים חדשים תניב תשואה נמוכה יחסית בעתיד הקרוב, אך ככל שיבנו יותר מבנים – מידת החיסכון תעלה. כך, למשל, במידה וכל יחידות הדיור החדשות הנבנות החל מ- 2014 יחויבו להתקין בידוד משופר (כפי שהודגם בסימולציות בפרק 3), בשנת 2025 פוטנציאל החיסכון השנתי עומד על כ- 70 מיליון ש"ח מסה"כ ההוצאות על אנרגיה במשק, ובשנת 2050 התקנת הבידוד תביא לחיסכון שנתי של כ- 250 מיליון ש"ח (כולל עלויות חיצוניות). לכאורה, העלות לשיפור הבידוד במבנים קיימים היא מינימאלית וההחזר – מובטח. על כן כל שיפור בבידוד מעטפת מבנים קיימים יבטיח חיסכון.

כהערת צד משמעותית יש לציין כי בעת יישום תכניות קידום לשוק הבידוד יש להתייחס להצלחותיהן וכישלונותיהן של תכניות דומות בעולם. ההמלצות בסעיף 3.6 שמות על כך דגש.

## **ב. יוזמות מקבילות שניתן למנף לבניית מנועי צמיחה במשק באמצעות תכניות בידוד**

סקר בדיקת פוטנציאל ההתייעלות האנרגטית והעמידה ב ת"י 5281 למבנים קיימים:

בשנה הקרובה (2015) צפוי לצאת לפועל סקר מבנים משותף של המשרד להגנת הסביבה והלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. סקר זה יבצע בדיקה לפוטנציאל ההתייעלות האנרגטית והעמידה ב ת"י 5281 למבנים קיימים בישראל. הסקר יכלול מבנים שנבנו עד לשנת 1984 ושייכים לישובים ושכונות בדירוג חברתי כלכלי 4 ומטה (כלומר מעמד סוציאקונומי נמוך).

הסקר יכלול 2 שלבים:

(1) סקרי מקדמי שיכלול 200 מבנים (ומתוכם כ-600 יח"ד). מטרתו של הסקר המקדמי לבדוק את פוטנציאל retrofit של סוגי המבנים השונים.

(2) סקר מתקדם, על בסיס ההתכנות והמסקנות של הסקר המקדמי, שיבחן 5,000 מבנים קיימים.

סקר זה הוא תהליך מקדים וחיוני לכל אחד מהאלטרנטיביות הכלכליות שנסקרו בסעיף מנועי הצמיחה הוא יכול לשמש כמקפצה לתהליך retrofit רחב היקף.

מיגון מבנים בישראל:<sup>70</sup>

לאור האתגרים הביטחוניים מולם עומדת החברה הישראלית החליטה הממשלה ב 2013 לבחון את סוגיית מיגון העורף. בעקבות החלטה זו קמה וועדה בין-משרדית בה השתתפו המשרד להגנת העורף, משרד ראש הממשלה, משרדי האוצר, המשפטים, הפנים, השיכון והביטחון, וכן המועצה לביטחון לאומי ופיקוד העורף.

<sup>70</sup> צוות ממשלתי ממליץ: מיגון חובה של כל הבתים בישראל ב-35 מיליארד שקל, The Marker, מירב ארלוזורוב, 2014.

הצוות הבין-משרדי המליץ לבחון את חיוב כלל בעלי הבתים בישראל למגן את ביתם מפני רקטות וטילים וכי על המדינה לשקול מתן תמרוץ כלכלי למיגון. במסגרת הוועדה הוסכם כי המיגון יהיה חייב להיות מושלם בתוך חמש שנים באזורי איום, ו-10 שנים בשאר האזורים. עוד הוסכם כי אוכלוסיות חלשות יקבלו סיוע ניכר מהמדינה לשם ביצוע המיגון. הצוות הבין-משרדי העריך כי עלות התוכנית למדינה תנוע בין 6 ל-10 מיליארד שקל במשך עשור בכפוף למידת הסבסוד שיוצע לשכבות החלשות.

ע"פ הוועדה, היישובים החשופים יותר מכל לסיכון של רעידת אדמה הם גם החשופים מכל לסיכון של טילים והם גם היישובים בשכבה סוציאקונומית נמוכה יותר ביותר - כך שאין בהם היתכנות כלכלית לביצוע פרויקטים של תמ"א 38 או פינוי-בינוי באופן עצמאי על חשבון התושבים. מתוך 634 אלף יחידות דיור ללא מיגון בישראל, 194 אלף נמצאות ביישובים חלשים ו מיגון דירות אלו יצטרך להיעשות בסיוע מסיבי של המדינה. ההערכה היא כי פרויקט המיגון יעלה למשק כ-35 מיליארד שקל במשך עשור, כאשר השתתפות המדינה בו תגיע ל-10 מיליארד שקל: מיליארד שקל למיגון הדירות בדיוור הציבורי, 4 מיליארד שקל כסיוע לרשויות המקומיות, כ-3 מיליארד שקל סיוע למיגון ביישובים חלשים וכ-2.5 מיליארד שקל לסבסוד המיגון בכל שאר המדינה.

נכון לכתבת שורות אלו ההמלצות סופיות לפרויקט המיגון טרם הושלמו וצפויים וטרם התקבלה כל החלטה אופרטיבית, יחד עם זאת תהליך מיגון מסובסד יוכל להתמזג עם תהליכי בידוד מבנים קיימים ואף לספק החזר השקעה לתהליך המיגון.

#### קרן דיור ציבורי לרכישת ושיפוץ מבנים:<sup>71</sup>

ועדת הכספים אישרה ביולי 2014 העברת 1.5 מיליארד שקל לקרן לדיור ציבורי, שתפעל באמצעות משרד השיכון לרכישת מלאי נוסף של דירות ציבוריות, שיפוץ דירות קיימות ובניית מעונות במסגרת שיקום שכונות. להערכת הוועדה, סכום זה יאפשר לרכוש 1,000 דירות חדשות ולשפץ 12 אלף דירות קיימות, במהלך השנים 2015-2018.

#### חוק הקרן לניהול הכנסות המדינה מתמלוגי הגז:

מליאת הכנסת אישרה ב 14 ביולי בקריאה שלישית את הצעת חוק "קרן לאזרחי ישראל". בדברי ההסבר שפרסמה הכנסת נכתב: "מוצע להקים קרן לניהול כספים שהתקבלו מהיטל רווחי נפט שנגבה לפי חוק מיסוי רווחי נפט, התשע"א-2011, ובכלל זה את אופן פעולתה ואופן הוצאת הכספים שינוהלו בה. הקרן לניהול הכספים שתוקם מטרתה לבדוק שהמדינה עושה שימוש הולם מהתקבולים ממשאבי הטבע בראיה שמדובר בנכסים בין-דוריים ולפיכך לנהל את הכנסות הקרן בראייה ארוכת טווח לטובת מטרות חברתיות, כלכליות וחינוכיות". חוק זה צפוי להיכנס לתוקף בשנת 2017 ורווחי הקרן צפויים להיות מיליארדי שקלים. אף שסכום זה טרם נגבה, נספר וטרם התבצע דיון עומק עבור ייעודי הקרן, אין מניעה כי אחוז מסכום זה יוכל לשמש כבסיס למימון תכניות retrofit, כחלק מהשקעות לטווח רחוק המפחיתות את הנזק לסביבה, מעצימות שכבות חלשות ויוצרות מינוף חברתי כלכלי במשק.

#### מנגנוני פיקוח על שכר הדירה כעידוד השקעה ב retrofit:

<sup>71</sup> גלובס, שלומית צור, יולי 2014.

כשילוב של מקלות וגזרים, אנו רואים כי השיח אודות פיקוח שכר דירה בישראל נכנס בהדרגה לכותרות. יוזמות שונות לפיקוח על העלאת שכר הדירה צצות חדשות לבקרים כחלק מהשיח על יוקר המחיה. נכון לכתיבת שורות אלו הוצגה הצעת חוק, אשר נכתבה בשיתוף משרד האוצר ומשרד המשפטים, מוצעת מגבלה על יכולתו של משכיר להעלות את שכר הדירה משנה לשנה. המשכיר יוכל לקבוע באופן חופשי את שכר דירה אחת לשלוש שנים ולאחר מכן להעלותו בשיעור העלייה של מדד המחירים לצרכן בלבד. פיקוח דומה על גודל והעלאת שכר הדירה קיים בגרמניה, יחד עם תכנית הטבות המאפשר לבעלי דירות המבצעים retrofit להעלות את שכר הדירה מעבר לסכום המותר בפיקוח. תכנית זו מעניקה תמריץ לבעלי הדירות להשקיע בדירותיהם ולמעשה לקבל את החזר ההשקעה ע"י התוספת לשכר הדירה.

#### 5.4 העצמת צרכן הקצה:

עולם הצרכנות השתנה באופן מהותי בשנים האחרונות. הצרכן אינו דומם, הוא נגיש לידע ולכלים משפטיים, התאגדותיים ותקשורתיים שכמותם לא היו קיימים עד לפני עשור. יחד עם זאת, תחום הבידוד חבוי בתוך הקיר וגם כאשר הוא גלוי, הצרכן אינו מסוגל לשפוט את אופיו. הפתרונות המוצעים בתחום זה עוסקים בהעצמת צרכן הקצה ע"י כלים וידע.

תמונה 3: המצלמה התרמית של חברת Flir. מתוך אתר



#### א. מתן כלים ופרסום לצרכן הקצה:

לפי סקר שנערך עבור גוגל <sup>72</sup>57% מהישראלים אווזים במכשירי סמרטפון שונים, מה שמקנה לישראל את המקום השני בעולם בתפוצת הסמרטפונים בעולם. הצרכן הישראלי הטמיעה את תרבות האפליקציות בקצב מסחרר והוא נעזר בהם לצרכי תחבורה, צריכת אנרגיה, מזון, חיי חברה, עבודה, ניהול משימות ולמעשה כמעט כל היבט בחיים המודרניים. ביטוי מרכזי בחלחול הטכנולוגי לצרכן מתבטא ביכולת להשוות מחירים בזמן באמת ולנהוג כצרכנים חכמים יותר. כבר כיום קיימים מגוון מוצרים המאפשרים נגישות

לטכנולוגיות שבעבר עלו הון וכיום הם זמינים בעלות נמוכה, טכנולוגיה כזו היא המצלמה התרמית. עשרות יצרנים מציעים מצלמה שכזו, המתחברת לסמרטפון ומאפשרת לבחון בריחת חום, בידוד לקוי, לחות, חדירת מים ועוד. שימוש בכלי זה יאפשר לצרכן, או לנציג מקצועי מטעמו, לזהות ליקויים וכשלים תרמים בדירות עוד בטרם רכישת הדירה. הקמת מאגר אפליקציות ירוקות, המשלבות ביניהן מגוון כלים לבחירת מגורים נכונה יכולה לחולל מהפכה משמעותית בשיח הצרכני וביכולתו לדרוש בנייה איכותית ומבודדת. שימוש בכלים כגון אלו, במקביל לפרסום במדיות מסורתיות יותר, יכולות לגרום לשינוי בתפיסת צרכן הקצה. דוגמא מובהקת לקמפיין פרסומי המוביל לשינוי תודעה ציבורי הינה קמפיין פרחי הבר בשנות ה-60 וה-70 אשר הוביל להפחתה משמעותית של מכירה וקטיפת

<sup>72</sup> Thinkinsights with Google, Our mobile planet, יוני, 2013.

פרחי בר<sup>73</sup>. דוגמא נוספת הינה הטמעת הצמחונות והטבעונות בקרב האוכלוסיה והגברת הרגישות לצרכנות מודעת, ע"פ סקרים<sup>74</sup> 75 55.2% מהציבור משתדל להימנע ממוצרים שייצורם פוגע בבעלי חיים וכ-9% מתושבי ישראל הינם צמחונים או טבעוניים. מקרים אלו מוכיחים כי ניתן לגרום לשינוי התנהגות גם בנושאים מורכבים הממותגים באופן אטרקטיבי ונוגעים ברגש או בכיס של צרכן הקצה.

#### ב. תעודת דירוג אנרגטי לדירות:

נכון לכתובת שורות אלו ת"י 5282 הוא הכלי שבאמצעותו ניתן לבדוק את הדירוג האנרגטי של דירות בישראל, הדירוג נקבע לפי המעטפת, אזור האקלים, מערכות הזיגוג ועוד. נקודת התורפה בהקשר הצרכני הוא בכך שת"י 5282 נגיש רק באמצעות ת"י 5281, כלומר מבנה שאינו עובר הסמכה לבניין ירוק אינו מקבל דירוג אנרגטי. בנוסף, גם צרכנים הרוכשים מבנה אשר הוסמך ל ת"י 5281 אינו מודעים לדירוג האנרגטי של הדירה אותה הם רוכשים. הצרכן הישראלי התרגל לחפש לקרוא דירוגים אנרגטיים, הקיימים למכשירי החשמל השונים, והם אכן משפיעים על בחירת המוצרים שהוא רוכש<sup>76</sup>.

ע"פ הצעה שאושרה בקבינט בדיוק ביוני 2014 צפויים להינקט בעתיד צעדים לביסוס והנגשת דירוג אנרגטי למבנים. כך שכל צרכן המעוניין לרכוש דירה יוכל לדעת מראש מה מידת צריכת האנרגיה של הבניין, כפי שנעשה כיום עם כל מכשיר חשמלי הנרכש בחנויות. יש לוודא שבניית הדירוג אכן מתממשת, שהדירוג מפקח ושהמידע מועבר לצרכן באופן מסודר, קריא ומחויב ע"פ חוק. כמו כן, על הדירוג האנרגטי להתייחס לדירות השונות (יתכן דירוג אנרגטי שונה לדירות באותו מבנה מגורים). בנוסף יש לוודא כי המידע על הדירוג האנרגטי של דירה ניתן להעברה (כדוגמת תעודה העוברת מוכר הדירה לקונה) וכן שהדירוג האנרגטי מתעדכן במידה והמבנה או הדירה משופצים ומשתדרגים תרמית. תעודת דירוג אנרגטי מאושר תשמש ככלי לשקיפות, הבנת איכות הדירה וכלי שיווקי להנגשת הנושא לצרכנים<sup>77</sup>. הדבר נפוץ בגרמניה ובצרפת, שם ישנם מנגנונים פשוטים המאפשרים למשכיר או מוכר הדירה לזהות בקלות את הדירוג האנרגטי של דירתו ולפרסם זאת ע"פ דרישת חוק.

<sup>73</sup> מורפולוגיה של שינוי תרבותי: מסע ההסברה להצלת פרחי הבר כגורם משפיע על עיצוב המרחב, 2010, בני פירסט, המחלקה לגאוגרפיה, האוניברסיטה העברית בירושלים.

<sup>74</sup> הצרכנים המודעים, מכון מדגם ומכון S I, 2013, מנו גבע, ד"ר מינה צמח, ד"ר הגר צמרת ומיכל וייס.

<sup>75</sup> סקר משרד הבריאות, 1999-2001.

<sup>76</sup> דוגמא לכך ניתן גם לראות במהלכים להחלפת מקררים ומזגנים לגרסאות יעילות אנרגטית שמנהל משרד האנרגיה והמים. ע"פ המשרד תוך שלושה שבועות נמכרו כ- 53% מהמקררים (27,037 מקררים) ב 2012.

<sup>77</sup> יש לזכור כי הצרכן אינו בהכרח משפחה או אינדיבידואל הרוכשים דירה קיימת שתוכננה שנים לפני עת המכירה. קבוצות רכישה נעשות נפוצות בישראל קבוצות אלו רוכשות את הקרקע לבנייה ומתקשרות עצמאית עם הקבלן הבונה. קבוצות אלו יכולות לדרוש תכנון לפי צרכיהם, הנגשת הבידוד התרמי והדירוג האנרגטי יקל על קבוצות אלו לדרוש דירות מבודדות במפרט.





תמונה 4: פרסום דירה משומשת למכירה, עם ציון הדירוג האנרגטי. צילום: אדר' ויקטור אבקסיס, אוגוסט 2014, וילמומבל, פריז, צרפת.

## 5.5 תקנים וחקיקה:

### א. סנכרון תקנים

סקירת החסמים הראתה היעדר סנכרון בין התקנים השונים העוסקים בבידוד תרמי (ת"י 1045, ת"י 5281, ת"י 5282, ת"י 5280). יש לייצר במסגרת מכון התקנים, האחראי על כתיבת התקינה, מהלך הבוחן את כלל התקנים העוסקים במעטפת המבנה, בראייה הוליסטית הנוגעת באופן השתלבות ותיאום התקנים זה עם זה<sup>78</sup>. על בדיקה זו להתבצע בתיאום עם נציגי הפרקטיקה, ביניהם יצרני הבידוד והקבלנים על מנת שתהיה מחוברת להיבטי היישום בפועל. במקביל, יש לבצע מהלך דומה הבוחן את כלל התקינה העוסקת בבנייה, נטרול סתירות בין תקנות האש לתקני הבידוד ואיתור סתירות נוספות. כפי שהצהירה וועדת זיילר<sup>79</sup>, אשר המליצה על יצירת קוד הבניה: "החקיקה בתחום הבניה לוקה בפיזור רב, בהיעדר סדר, בעמימות ואי-בהירות, בסתירות ובהיעדר מדיניות ברורה. הם אינם מאפשרים פעמים רבות לנצרכים להוראות הדין (מתכנים, מפקחים, רשויות, מבצעים ואחרים) להבהיר לעצמם מה הן מלוא הנורמות החלות על הבנייה שבה הם מעורבים" ... כדי להיחלץ ממצב זה, המלצנו ליצור, בדומה למקובל במקומות מתוקנים בעולם, קוד בנייה מקיף, ממוין ומסווג לפי נושאים, כך שכל "מידע חקיקתי" על כל נושא טכני או אחר, יוכל להימצא בנקל". על בסיס המלצות הוועדה נוצר קוד הבנייה<sup>80</sup> אשר בא להוות מערכת הוראות הכוללת את הסף המינימלי הנחוץ כדי להבטיח את האיכות ואת הבטיחות הנדרשות לתכנון ולביצוע של מבנים. המלצות הוועדה, אשר אושרו ע"י ממשלת ישראל ב 2005 כללו את חובת תיאום כלל החקיקה בתחום התכנון המרחבי והבנייה. יש לקדם במסגרת רפורמת קוד הבנייה תהליך סנכרון תקנים כולל ונקודתית בתחום הבידוד התרמי ותקנות האש הנוגעות להן יחד עם דרישות החוק

<sup>78</sup> בדיקה דומה מתבצעת בזמן כתיבת שורות אלו בפרקים השונים של ת"י 5281 ע"י מכון התקנים.

<sup>79</sup> דוח ועדת החקירה הממלכתית לעניין בטיחות מבנים ומקומות המשמשים את הציבור, ועדת זיילר, 2003.

<sup>80</sup> [http://www.moch.gov.il/beniyya\\_hadasha/kod\\_habniyya/Pages/kod\\_habeniyya.aspx](http://www.moch.gov.il/beniyya_hadasha/kod_habniyya/Pages/kod_habeniyya.aspx) קוד הבנייה, מתוך אתר משרד הבינוי והשיכון.

לבידוד אקוסטי, דרישות קונסטרוקטיביות וכלל החקיקה הנוגעת בשילוב פתרונות הבידוד עם דרישות התפקוד המקבילות לה.

### ב. בניית תקן לבדיקת איכות מוצרי הבידוד

כפי שהורחב בפרק חסמים, בניית תקן לפיקוח איכות מוצרי בידוד מצוי בתכניות העבודה של מכון התקנים ל-2015. יש לוודא כי הדבר אכן מתבצע, הן ע"י תקינה המתואמת עם יצרני ויבואני הבידוד בישראל והן ע"י גיבוי של מעבדה שבכוחה לוודא את אמיתות הנתונים. תקן שכזה יפחית את החשש ממוצרי בידוד חדשים וכן יוודא את איכותם של מוצרי הבידוד הקיימים.

### ג. הנגשת תקנים:

שני תקנים משמעותיים אינם נגישים כיום לקהל הרחב. ההסמכה לת"י 5282 אפשרית רק באמצעות ת"י 5281. כתוצאה מכך תקינה ליעילות אנרגטית (מעבר לדרישות החוק) של מבנה אפשרית רק למבנים המוסמכים לבינה ירוקה. מוצע כי תתאפשר הסמכה לת"י 5282 גם למבנים אשר אינם ירוקים כדוגמת מבנים צמודי קרקע. הסמכה זו תתייחס כאמור רק להיבטי אנרגיה. בהקשר זה יש לציין את ת"י 5280, אשר אמור לשלב בין ת"י 1045 לת"י 5282 ולייצר ראייה מערכתית אנרגטית של המבנה אך עדיין אינו מיושם או מחייב. יש להטמיע את ת"י 5280 בקוד הבנייה, בין אם כמחייב או כוולונטרי בשלבים ראשוניים, תוך כדי תיאום עם הפרקטיקה בשטח באופן שיבטיח את אימוץ התקן ללא התנגדויות.

## **5.6 בניית ראיית על לשוק הבידוד:**

קיימות מס' דוגמאות בישראל להתאגדויות מוצלחות על בסיס אתגר מקצועי משותף, על אף קיומם של אינטרסים עסקיים שונים בין חברי פורום שכזה. דוגמאות לכך ניתן לראות במועצת הלול, מועצת הצמחים (העוסקים בפירות וירקות), איגוד יצרני הפלסטיקה והגומי בישראל, איגוד תעשיית האלקטרוניקה והתוכנה ועוד. התאגדויות אלו מאופיינות בכך שהן מתמודדות מול אתגרים משותפים ומנגישים פתרונות לכלל הסקטור. מחקר זה העלה מספר נושאים אשר יכולים להוות בסיס ראשוני לפעילות משותפת של פורום בידוד: לובי לשיפור, שינוי ותיאום תקינה, יצירת קונצנזוס בין אקדמיה, יצרנים וקבלנים, בניית מודעות ע"י תשדירי שירות ופרסום, הכשרות, סיורים לקבלנים, הדגמת טכנולוגיות, קידום תכניות סבסוד ועוד. קיומו של שיתוף פעולה מאין זה מהווה תשובה ל"היעדר אב ואם" לתחום הבידוד כפי שצוין מס' פעמים ע"י המרואיינים למחקר זה. בשלבים מתקדמים לובי זה אף יוכל להתרחב ולהכיל חברות המתייחסות לכלל היבטי המעטפת.

## **5.7 הצעות למחקר עתידי:**

במסגרת מחקר זה עלו מגוון נושאים בעלי חשיבות וקשר לתחום הבידוד. נושאים אלו הוזכרו ברמיזה או לא הוזכרו כלל מטעמי היקף ומטרות המחקר. יחד עם זאת, על מנת להרחיב את התמונה ומתוך ראייה לעתיד, אנו מציעים את הנושאים הבאים למחקרי המשך:

- מחקר השוואתי הבוחן את העמידה בדרישות ת"י 5282 לעומת ת"י 1045 ות"י 5280 ונקודות הממשק ביניהן.
- סדרת מחקרים הבוחנת מרכיבים שונים במעטפת כגון חלונות, אוורור ואיטום, סקירת חסמים לכל תחום, מקרי לימוד מן העולם, חיסכון כספי והמלצות למדיניות. השוואה בין המרכיבים השונים, יתרונות כל מרכיב וכלים לבחירת המרכיבים המתאימים ביותר לחתכי הקירות.
- בחינת חסכון כספי ואנרגטי בפועל הנובע מעמידה בתקנים תרמיים ע"י בחינת מקרי מבחן בנויים לאורך שנה. כולל השוואה בין מבנים שונים.
- השוואה בין סוגי תוכנות הסימולציה הבודקות את צריכת האנרגיה במבנים, השוואה בין התכנות לחישובים דינאמיים (BEMS).
- קירות מסך מתקדמים וטכנולוגיות להדפסה תלת ממדית של מבנים – מהי השלכתן של טכנולוגיות חדשניות על תעשיית הבידוד ותיעוש הבנייה?
- בחינת אזורי האקלים בישראל, בדיקת אלטרנטיבות לשיטה הקיימת, השוואת יתרונות וחסרונות לכל שיטה מוצעת ביחס לקיימת.
- בחינת הקיים של מערכות הבידוד ונקודות התורפה שלהן. מהו מצבן לאחר 10 שנים ממועד הביצוע ואחרי תהליכי שיפוץ.
- בחינת חסמים תרבותיים וסוציאוקונומיים הנוגעים לשיפוץ דירות, בחירת מפרט לדירות ויחס הצרכן לדירה ירוקה והשימוש בה.

## 6. נספחים

### 6.1 חישובים תרמיים

נספח זה מציג את הנחות היסוד של המחקר והשימוש בהן לצורך חישוב החיסכון כתוצאה מיישום בידוד בסוגי המבנים השונים בישראל.

**שלב א:** חישוב מספר המבנים בישראל ופילוחם לפי אזורי האקלים ולפי שיטת הבנייה.  
**לוח 1:** מספר יחידות הדיור בישראל (מבוסס על המקורות: הלמ"ס, בינוי 68 ו- תמ"א 38)

יח"ד	סה"כ	בנייה קיימת (לפני 1988)	בנייה רוויה (אחרי 1988)
	2,348,958	1,112,020	1,236,938

**לוח 2:** פילוח יחידות הדיור בישראל לפי אזורים (מבוסס על המקורות: הלמ"ס, בינוי 68 ו- תמ"א 38)  
 [מכפלת לוח 1 בפילוח האוכלוסייה]

אזור אקלים	פילוח האוכלוסייה בישראל (%)	סה"כ דירות	בנייה קיימת (לפני 1988)	בנייה רוויה (אחרי 1988)
אזור א'	30	704,687	333,606	371,081
אזור ב'	40	939,583	444,808	494,775
אזור ג'	20	469,792	222,404	247,388
אזור ד'	10	234,896	111,202	123,694
סה"כ	100	2,348,958	1,112,020	1,236,938

**לוח 3:** פילוח סוג הבנייה בישראל (%)

בנייה קיימת (לפני 1988)		בנייה רוויה (אחרי 1988)	
מבנה "H"	מבנה "רכבת"	בנייה בבולקים	שיטת ברנוביץ'
0.5	0.5	0.4	0.6

**לוח 4:** פילוח יחידות הדיור בישראל לפי אזורים וסוג הבנייה  
 [מכפלת לוח 2 בלוח 3]

אזור אקלים	בנייה קיימת (לפני 1988)		בנייה רוויה (אחרי 1988)	
	מבנה "H"	מבנה "רכבת"	בנייה בבולקים	שיטת ברנוביץ'
אזור א'	166,803	166,803	148,433	222,649
אזור ב'	222,404	222,404	197,910	296,865
אזור ג'	111,202	111,202	98,955	148,433
אזור ד'	55,601	55,601	49,478	74,216
סה"כ	556,010	556,010	494,775	742,163

**שלב ב:** כיוון שצריכת האנרגיה שחושבה ע"י התוכנה למידול תרמי אינה וודאית - יש להתייחס לאחוז השיפור בין צריכה בבניין ללא בידוד לעומת הריה בבניין עם בידוד. על מנת לחשב, באופן מקורב, את השיפור האבסולוטי בצריכת האנרגיה (בקוט"ש), יש לחשב את צריכת האנרגיה האמיתית בכל סוג בניין באקלימים השונים. על כן, שלב זה התמקד במציאת כמות האנרגיה האבסולוטית (קוט"ש) המופנית לאקלום מגורים בישראל, נכון לשנת 2014, לפי אזורי האקלים ושיטות הבנייה:

לוח 5: צריכת חשמל שנתית כוללת בישראל, מיליארד קוט"ש (ע"פ חברת החשמל נכון ל-2012)

2012	גידול בצריכה (%)	תחזית 2013	תחזית 2014
58	2	59.16	60.3432

לוח 6: חישוב צריכת אנרגיה לאקלום דירה ממוצעת, לפי צריכת אנרגיה לשנת 2014

[עיבוד נתונים מלוח 1 ו-5]

צריכת חשמל בדירות מסה"כ צריכת החשמל במשק (%)	צריכת חשמל במגורים (מיליארד קוט"ש)	צריכת חשמל למיזוג בדירות מסה"כ צריכת החשמל בדירות (%)	סה"כ צריכת חשמל למיזוג מגורים (מיליארד קוט"ש)	צריכת חשמל ממוצעת לאקלום יחידת מגורים ממוצעת (קוט"ש)
30	18.10296	40	7.241184	3,083

**שלב ג:** הערך שהתקבל בלוח 6 מתאר את צריכת החשמל לאקלום דירה ממוצעת בישראל, אולם לערך הממוצע אין משמעות במחקר זה. עלינו לחשב את צריכת האנרגיה המדויקת לכל אזור אקלים ולכל שיטת בנייה. לשם כך, "נורמלו" (normalized) תוצאות הסימולציות (לוח 7) והוכפלו בצריכת החשמל לאקלום דירה ממוצעת (לוח 8). לאחר חישוב צריכת האנרגיה האמיתית בכל דירה - חושבה צריכת האנרגיה הכוללת בכל אזורי האקלים לפי כל שיטות הבנייה (לוח 9).

לוח 7: נירמול (normalization) צריכת האנרגיה פר דירה, לפי שיטת בנייה ואזור אקלים (%). נתונים - תוצאות הסימולציות.

	בנייה קיימת (לפני 1988)		בנייה רוויה (אחרי 1988)	
	מבנה "H"	מבנה "רכבת"	בנייה בבולקים	שיטת ברנוביץ'
אזור א'	0.070	0.028	0.051	0.054
אזור ב'	0.079	0.032	0.059	0.062
אזור ג'	0.075	0.031	0.054	0.058
אזור ד'	0.113	0.048	0.091	0.094

סה"כ: 1.000

לוח 8: צריכת אנרגיה מחושבת ומתואמת (לאחר נירמול) לאקלום דירה, לפי שיטת בנייה ואזור אקלים (קוט"ש) [הכפלת לוח 7 בלוח 6]

	בנייה קיימת (לפני 1988)		בנייה רוויה (אחרי 1988)	
	מבנה "H"	מבנה "רכבת"	בנייה בבולקים	שיטת ברנוביץ'
אזור א'	3,472	1,389	2,512	2,660
אזור ב'	3,916	1,581	2,911	3,059
אזור ג'	3,679	1,507	2,675	2,881
אזור ד'	5,571	2,364	4,492	4,655

לוח 9: צריכת אנרגיה מתואמת כללית (לכל הדירות באזור אקלים), לפי שיטת בנייה ואזור אקלים (קוט"ש)

[הכפלת לוח 8 בכמות הדירות בלוח 4]

בנייה רוויה (אחרי 1988)		בנייה קיימת (לפני 1988)		
שיטת ברנוביץ'	בנייה בבלוקים	מבנה "רכבת"	מבנה "H"	
592,189,801	372,860,245	231,685,947	579,214,868	אזור א'
908,024,362	576,105,634	351,636,828	870,876,256	אזור ב'
427,692,634	264,657,664	167,602,600	409,147,524	אזור ג'
345,444,051	222,253,950	131,453,020	309,736,178	אזור ד'
2,273,350,849	1,435,877,494	882,378,395	2,168,974,825	סה"כ

סה"כ: 6,760,581,563

**שלב ד:** באותו אופן חושבה צריכת האנרגיה לאקלום דירה לאחר הוספת הבידוד (לוח 11), וכן סה"כ האנרגיה לאקלום כל הדירות (לוח 12).

לוח 10: שיפור בביצועים, לאחר הוספת בידוד (%). נתונים - תוצאות הסימולציות.

בנייה רוויה (אחרי 1988)		בנייה קיימת (לפני 1988)		
שיטת ברנוביץ'	בנייה בבלוקים	מבנה "רכבת"	מבנה "H"	
5.8	2.2	19.8	18.4	אזור א'
5.9	2.7	19.9	18.0	אזור ב'
9.9	5.1	26.6	25.6	אזור ג'
5.0	2.6	14.4	14.2	אזור ד'

לוח 11: צריכת אנרגיה מחושבת ומתואמת, לאחר הוספת בידוד, לדירה, לפי שיטת בנייה ואזור אקלים (קוט"ש). [הכפלת ערכי הצריכה הנוכחיים (לוח 8) באחוזי השיפור (לוח 10)]

בנייה רוויה (אחרי 1988)		בנייה קיימת (לפני 1988)		
שיטת ברנוביץ'	בנייה בבלוקים	מבנה "רכבת"	מבנה "H"	
2,505	2,456	1,114	2,833	אזור א'
2,879	2,831	1,267	3,210	אזור ב'
2,597	2,539	1,106	2,737	אזור ג'
4,423	4,375	2,024	4,780	אזור ד'

לוח 12: צריכת אנרגיה מתואמת כללית (לכל הדירות באזור אקלים), לפי שיטת בנייה ואזור אקלים, לאחר הוספת בידוד (קוט"ש).

[הכפלת לוח 11 בכמות הדירות בלוח 4]

בנייה רוויה (אחרי 1988)		בנייה קיימת (לפני 1988)		
שיטת ברנוביץ'	בנייה בבלוקים	מבנה "רכבת"	מבנה "H"	
557,743,081	364,506,390	185,787,371	472,591,438	אזור א'
854,785,621	560,268,958	281,703,518	713,826,586	אזור ב'
385,471,343	251,278,876	122,966,262	304,315,565	אזור ג'
328,288,297	216,451,999	112,523,739	265,773,391	אזור ד'
2,126,288,342	1,392,506,223	702,980,889	1,756,506,979	סה"כ

סה"כ 5,978,282,432

**שלב ה:** כעת ניתן לחשב את ההפרש בצריכת האנרגיה בין דירות מבודדות ללא מבודדות, הן בקוט"ש והן בש"ח.

לוח 13: חיסכון שנתי לדירה (קוט"ש)

[החסרת לוח 11 מלוח 8]

	בנייה קיימת (לפני 1988)		בנייה רוויה (אחרי 1988)		
	מבנה "H"	מבנה "רכבת"	בנייה בבבלוקים	שיטת ברנוביץ'	
אזור א'	639	275	56	155	
אזור ב'	706	314	80	179	
אזור ג'	943	401	135	284	
אזור ד'	791	340	117	231	

לוח 14: כמות האנרגיה הנחסכת עקב הוספת הבידוד, לפי שיטת בנייה ואזור אקלים (קוט"ש)

[החסרת לוח 12 מלוח 9]

	בנייה קיימת (לפני 1988)		בנייה רוויה (אחרי 1988)		
	מבנה "H"	מבנה "רכבת"	בנייה בבבלוקים	שיטת ברנוביץ'	
אזור א'	106,623,430	45,898,577	8,353,855	34,446,721	
אזור ב'	157,049,670	69,933,310	15,836,676	53,238,741	
אזור ג'	104,831,959	44,636,338	13,378,788	42,221,292	
אזור ד'	43,962,787	18,929,281	5,801,951	17,155,754	
סה"כ	412,467,847	179,397,506	43,371,271	147,062,507	

לוח 15: חיסכון שנתי לדירה (ש"ח)

	בנייה קיימת (לפני 1988)		בנייה רוויה (אחרי 1988)		
	מבנה "H"	מבנה "רכבת"	בנייה בבבלוקים	שיטת ברנוביץ'	
אזור א'	479	206	42	116	
אזור ב'	530	236	60	135	
אזור ג'	707	301	101	213	
אזור ד'	593	255	88	173	

לוח 16: חיסכון חודשי לדירה (ש"ח)

	בנייה קיימת (לפני 1988)		בנייה רוויה (אחרי 1988)		
	מבנה "H"	מבנה "רכבת"	בנייה בבבלוקים	שיטת ברנוביץ'	
אזור א'	40.0	17.2	3.5	9.7	
אזור ב'	44.1	19.7	5.0	11.2	
אזור ג'	58.9	25.1	8.5	17.8	
אזור ד'	49.4	21.3	7.3	14.4	

לוח 17: חיסכון שנתי לכלל הדירות (מיליוני ש"ח)

בנייה רוויה (אחרי 1988)		בנייה קיימת (לפני 1988)		
שיטת ברנוביץ'	בנייה בבלוקים	מבנה "רכבת"	מבנה "H"	
26	6	34	80	אזור א'
40	12	52	118	אזור ב'
32	10	33	79	אזור ג'
13	4	14	33	אזור ד'
110	33	135	309	סה"כ