



עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל

ינואר 2013

© כל הזכויות שמורות למועצה הישראלית לבנייה ירוקה, ינואר 2013
הדוח נערך בתמיכת קרן ברכה

B E R A C H A
ה B R A C H A

עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל

ינואר 2013

חגי קוט וד"ר דוד כ"ץ

חגי קוט הינו כלכלן, מומחה לכלכלה סביבתית, כלכלה בת קיימא ומדיניות סביבתית. בעל תואר MSc במדיניות ורגולציה סביבתית מה- London School of Economics, ותואר BA בכלכלה מאוניברסיטת ת"א. עמית הוראה במכללת ת"א – יפו, ובעל משרד ייעוץ ומחקר אסטרטגי במגוון נושאים כלכליים – סביבתיים.

ד"ר דוד כ"ץ הינו מרצה בחוג לגיאוגרפיה ולימודי סביבה באוניברסיטת חיפה. בעל תואר ד"ר מאוניברסיטת משיגן ומומחה לכלכלה סביבתית, מדיניות סביבתית וניהול משאבי טבע. יועץ לחברות ולארגונים ציבוריים בנושאים הקשורים לכלכלה סביבתית וניהול סביבתי.

ועדת היגוי: קרן שוץ, הילה ביניש, יעל דורי, דורון קליין, גל שפניר, כרמית ליאור

שלמי תודה:

ברצוננו להודות לאדריכל גל שפניר על עזרתו האדיבה ועצותיו המועילות לאורך המחקר כולו, ובפרט בכל הנוגע לסוגיית הבידוד התרמי של הבניינים.

במהלך עבודת איסוף הנתונים והמידע קיבלנו סיוע רב מאבי מאור – מנכ"ל קבוצת חנן מור, מהמהנדס אריק פינצי – מנהל אזור צפון בחברת שיכון ובינוי נדל"ן, מהמהנדס סאפי אלשייך – מנהל הפרויקט מחברת שיכון ובינוי תשתיות סולל בונה וממשה בן חמו – מנכ"ל חברת אלפא פריזמה, ועל כך תודתנו והערכתנו הרבות.

בנוסף, ברצוננו להודות ולהביע את הערכתנו לכל אנשי המקצוע, אשר ענו לשאלותינו והרחיבו את הבנתנו, במגוון נושאים וסוגיות הקשורים לבנייה בכלל ולבנייה ירוקה בפרט ובניהם (על פי סדר א"ב של השם הפרטי):

אופיר נבו – מנהל שיווק בחברת אקסטל בע"מ, חברה לפיתוח, ייצור ושיווק מערכות אלומיניום לבניין
אורן תבור – מתכנן סביבה, יחידה אזורית לאיכות הסביבה בשרון
אילן ליאור – מנכ"ל חברת לבנים, חברה לפיתוח טכנולוגיות לבנייה משמרת אנרגיה
אמנון אברמוב – מנהל פרויקטים בחברת תדמית אלומיניום בע"מ
אריק איפרגן – מנהל שיווק בחברת סטאר גלאס בע"מ, חברה לייצור מוצרי זכוכית לבניין ולתעשייה
אתי שאשא – חברת אלומיניום ורד 1993 בע"מ
יפעת סלע-דדון – אחראית קיימות בשיכון ובינוי נדל"ן
כרמל פאר – יועץ אקוסטיקה
מהנדס לאוניד ברזון – יועץ אלומיניום, חברת א.מ.ג. תכנון יעוץ וניהול בע"מ
מיכל ויטל-ברון – תכנון וייעוץ לבנייה ירוקה
מהנדס משה נצר – מהנדס תאימות אלקטרומגנטית, מנכ"ל הנדסת תאימות ובטיחות בע"מ
ד"ר סטיליאן גלברג – ראש אגף מניעת רעש וקרינה, המשרד להגנת הסביבה
ראובן לויצקי – מנכ"ל חברת טופז תעשיות זכוכית בע"מ
מהנדסת רוזה גולדין – גולד הנדסה ייעוץ תרמי למבנים בע"מ
תומר רחמים – מתכנן ערים ואזורים, מנהל מחלקת איכות הסביבה בעריית נס ציונה
תמר לניר-שצברג – מתכננת באגף תכנון ועיצוב עיר, עיריית נתניה

תוכן עניינים

7	תקציר מנהלים.....
14	1. מבוא.....
16	2. סקירת ספרות.....
16	א. זיהוי עלויות ותועלות.....
19	ב. עלויות בנייה – סקירה השוואתית.....
23	ג. עלויות תפעול ותחזוקה.....
25	ד. מחירי מכירות, השכרות ותעריפי דיור.....
27	ה. עלויות ותועלות של בנייה ירוקה בישראל.....
29	3. שיטות מחקר.....
29	א. מתודולוגיות למדידת עלויות של בנייה ירוקה.....
31	ב. מתודולוגיית ושלבי המחקר הנוכחי.....
32	ג. מגבלות המחקר.....
33	4. ניתוח עלויות של רכיבים ירוקים בבניין 304 והשוואתן לעלויות של בניין ייחוס....
33	א. הקדמה.....
34	ב. פירוט הרכיבים הירוקים בבניין 304, עלותם והשוואה לעלות בבניין ייחוס.....
35	1. אנרגיה.....
51	2. קרקע.....
53	3. מים.....
54	4. נושאים סביבתיים אחרים.....
57	5. התרשמות מעריך.....
60	ג. סיכום השוואת עלויות.....
61	ד. ניתוח הממצאים באופן פרטני.....
67	5. ניתוח עלויות של רכיבים ירוקים בבניין 1 והשוואתן לעלויות של בניין ייחוס.....
67	א. הקדמה.....
69	ב. פירוט הרכיבים הירוקים בבניין 1, עלותם והשוואה לעלות בבניין ייחוס.....
69	1. אנרגיה.....
82	2. קרקע.....
84	3. מים.....
85	4. נושאים סביבתיים אחרים.....
88	5. התרשמות מעריך.....
91	ג. סיכום השוואת עלויות.....

92	 ד. ניתוח הממצאים באופן פרטני.
97	 6. ניתוח השוואתי של הממצאים.
101	 7. החיסכון הנדרש להחזרת ההשקעה הנוספת.
104	 8. סיכום ומסקנות.
110	 9. ביבליוגרפיה.
115	 10. נספחים.
115	 א. חישובי עלויות זיגוג.
115	 1. בנין 304
118	 2. בנין 1
119	 ב. חישובי בידוד תרמי של בנייני הייחוס.
119	 1. בנין 304
125	 2. בנין 1

רשימת טבלאות עיקריות

11	סיכום הממצאים העיקריים של עלויות הרכיבים הירוקים בבנין 304 ובבנין 1	1
23	סיכום מחקרים אמפיריים השוואתיים בנושא תוספת עלות של בנייה ירוקה	1-2
27	הערכת עלויות לבנייה ירוקה בישראל	2-2
30	שיטות להשוואת עלויות ותועלות של בנייה ירוקה ובנייה קונבנציונלית	1-3
33	פירוט ניקוד בנין 304 לפי תקן 5281	1-4
43	עלויות קיר חיצוני בבנין 304 ובבנייני הייחוס	2-4
60	סיכום השוואת עלויות בין בנין 304 ובבנייני הייחוס	3-4
65	השוואת עלויות רכיבי בידוד בין שני בנייני הייחוס של בנין 304	4-4
68	פירוט ניקוד בנין 1 לפי תקן 5281	1-5
74	עלויות קיר חיצוני מסוג 1 בבנין 1 ובבנייני הייחוס	2-5
76	עלויות קיר חיצוני מסוג 2 בבנין 1 ובבנייני הייחוס	3-5
91	סיכום השוואת עלויות בין בנין 1 ובבנייני הייחוס	4-5
96	השוואת עלויות רכיבי בידוד בין שני בנייני הייחוס של בנין 1	5-5
97	ניתוח השוואתי של הממצאים	1-6
99	השוואת עלויות של רכיבי בנייה ירוקים זהים בין בנין 304 ובנין 1	2-6
101	החיסכון הנדרש בכדי להחזיר את ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה (עם מחירים קבועים, ללא שיעור ניכיון, ועם תקופת החזר של 30 שנה)	1-7
102	החיסכון הנדרש בכדי להחזיר את ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה (עם עליית מחירים, שיעור ניכיון של 3%, ותקופת החזר של 30 שנה)	2-7

רשימת איורים

19	חלוקת תועלות מבנייה ירוקה	1-2
28	התפלגות תועלת עלויות בנייה ירוקה לפי סוגי תועלת	2-2
37	העמדת בניין 304 ביחס לנוף	1-4
38	בניין 304 – קומה טיפוסית	2-4
48	בניין 304 – חלון לובי קומתי	3-4
61	בניין 304 - חלקם היחסי של רכיבים שונים בעלות ההשקעה הנוספת	4-4
62	בניין 304 - חלקם היחסי של רכיבים פאסיביים ומערכות בעלות ההשקעה הנוספת	5-4
63	בניין 304 - חלקם היחסי של רכיבים פאסיביים מתוך סך ההשקעה ברכיבים פאסיביים	6-4
64	בניין 304 - חלקם היחסי של מערכות מתוך סך ההשקעה במערכות	7-4
67	בניין 1 - אזור הפרויקט	1-5
70	בניין 1 - תרשים העמדה של הבניינים בפרויקט	2-5
92	בניין 1 - חלקם היחסי של רכיבים שונים בעלות ההשקעה הנוספת	3-5
93	בניין 1 - חלקם היחסי של רכיבים פאסיביים ומערכות בעלות ההשקעה הנוספת	4-5
94	בניין 1 - חלקם היחסי של רכיבים פאסיביים מתוך סך ההשקעה ברכיבים פאסיביים	5-5
95	בניין 1 - חלקם היחסי של מערכות מתוך סך ההשקעה במערכות	6-5

תקציר מנהלים

בעשור האחרון אנו עדים לגידול הולך וגובר בבנייה ירוקה בעולם כולו ובישראל בפרט. בנייה ירוקה מתמקדת בצמצום תשומות האנרגיה, המים ומשאבים נוספים הדרושים לבניית מבנים והפעלתם, לצד צמצום הנזקים הסביבתיים הנגרמים בזמן הבנייה, כמו גם שואפת לייצר סביבת פנים בריאה ונעימה לשימוש. לשם השגת מטרות אלו בנייה ירוקה שמה דגש על תכנון חכם המתחשב בתנאי האקלים המקומיים (שמש, רוח, לחות, צל ועוד), בידוד הבניין מסביבתו החיצונית ושימוש במסה תרמית על מנת לחסוך בצריכת אנרגיה לחימום וקירור החללים, הגברת האוורור והתאורה הטבעיים, שימוש בחומרים ידידותיים לאדם ולסביבה, יישום מערכות חכמות לחיסכון, מיחזור משאבים ועוד.

מקורותיה של ההתעניינות הגוברת בבנייה ירוקה הינם מגוונים. ברמת הצרכנים, לאור העלויות ההולכות וגדלות של צריכת חשמל ומים בישראל, גובר הצורך בהתייעלות וחסכון. ברמה לאומית, בנייה ירוקה היא מרכיב חיוני ובר השפעה רבה על תכנון סביבתי, בטחון אנרגיה ומים, וכן מנוע מרכזי לצמיחה כלכלית ירוקה. בנוסף, היות ובניינים אחראים לעד 40% מצריכת האנרגיה בעולם, והיות והמגזר הביתי בישראל הוא המגזר בעל צריכת המים הגבוהה ביותר, כמו גם צרכן מרכזי של חומרי גלם לבנייה ויצרן משמעותי של פסולת מוצקה, לבנייה ירוקה יש פוטנציאל רב בהפחתת צריכת משאבים מחד וצמצום פסולת ונזקים סביבתיים מאידך. יתרה מזאת, ברמה הבינלאומית, אם וכאשר יהיו אמנות המשך לאמנת קיוטו לצמצום פליטות גזי חממה, ישראל תצטרך להפחית משמעותית את טביעת הרגל הפחמנית שלה, תהליך אשר לבנייה ירוקה צפוי להיות בו תפקיד מרכזי. לאור כל זאת, ב-2005 נכתב בישראל תקן לבנייה ירוקה (תקן 5281 של מכון התקנים), תקן אשר עבר עדכון מקיף ב-2011. כמו כן, רשויות מקומיות שונות אף הן מקדמות אוגדנים לבנייה ירוקה בתחומיהן, וחלקן אף אימצו את התקן לבנייה ירוקה עבור בנייה חדשה. למהלכים אלו יש השפעה ניכרת על חברות הבנייה והיזמים.

למרות ההתעניינות ההולכת וגוברת בבנייה ירוקה בישראל, תחום זה נמצא עדיין בצעדיו הראשונים. אמנם קיים מספר הולך וגדל של בניינים אשר הוסמכו על פי התקן הישראלי 5281, או נמצאים בתהליכי בנייה והסמכה בימים אלו, אך טרם הצטברה מסה קריטית של בניינים ירוקים כך שעדיין קשה להצביע על השפעה משמעותית על שוק הנדל"ן הישראלי. אחד מהחסמים ליישום נרחב של בנייה ירוקה הוא אי הוודאות לגבי העלויות והכדאיות הכלכלית של שיטת בנייה זו יחסית לבנייה קונבנציונלית, וכפי שמפורט בסקירת הספרות, חשש זה אינו ייחודי לישראל. בעוד בחו"ל קיימים מספר מחקרים אשר בדקו והשוו בין עלויות ותועלות של בנייה ירוקה ובנייה קונבנציונלית, בארץ כמעט ולא נעשו עבודות אמפיריות שניתחו את הנושא.

מטרתו של מחקר זה היא להתחיל לחקור ולאמוד את העלויות הכלכליות של בנייה ירוקה בישראל, ולבנות בסיס נתונים לעלויות אלו. המחקר מנתח את העלויות הכלכליות של בנייה ירוקה ומשווה אותן לעלויות של בנייה קונבנציונלית, בהתבסס על שני מקרי מבחן של בנייני מגורים אשר

קיבלו תו ירוק בדרגת מצטיין לפי תקן 5281¹. הבניין הראשון הוא "בניין 304" שנבנה על-ידי קבוצת חנן מור בנס- ציונה. הבניין השני הוא "בניין 1" שנבנה ע"י קבוצת שיכון ובינוי נדל"ן בנתניה. בכך אנו מקווים לזהות באיזו מידה ובאיזה אופן נבדלות עלויות הבנייה הירוקה מבנייה קונבנציונלית הרווחת בשוק. מידע זה עשוי להיות שימושי למספר רב של בעלי עניין לרבות יזמים, צרכנים, דיירים, מקבלי החלטות וקובעי מדיניות. כאמור, אנו מקווים שמחקר זה, שהוא חלוצי מסוגו בישראל, יהווה בסיס לאיסוף מידע על פרויקטים נוספים שייבנו, וזאת על-ידי אימוץ המתודולוגיה המוצעת לכדי יצירת מאגר מידע רחב בתחום עלויות הבנייה הירוקה בישראל לצרכיהם השונים של בעלי העניין הנ"ל.

עיקרי סקירת הספרות

סקרים שונים שנערכו בחו"ל מצאו שעלויות של בנייה ירוקה נחשבת בעיני קבלנים ומומחים העוסקים בבנייה ירוקה כמכשול משמעותי ליישומה.² קיימת דעה רווחת בקרב יזמים שבנייה ירוקה יקרה משמעותית מבנייה קונבנציונלית, ויזמים העריכו שעלויות תהיה גבוהה ב- 17% בממוצע מזו של בנייה קונבנציונלית.³ אולם מחקרים רבים שבדקו אמפירית את הנושא במדינות שונות, מצאו שבממוצע תוספת העלות של בנייה ירוקה (פרמיית עלות) הינה בין 1-3% בלבד, וכמה מהמחקרים מצאו שכלל אין הבדל בעלויות בין בנייה ירוקה לקונבנציונלית. תוספת העלות לבניינים שקיבלו תקן ירוק בדירוג גבוהה (למשל LEED silver ומעלה) נמצאה גבוהה יותר ונעה בין 1-11%.

מחקרים בחו"ל מציינים השפעות חיוביות של בנייה ירוקה, אשר להן משמעות כלכלית ניכרת כמו למשל: חסכון באנרגיה ומים, ירידה בתחלואה של דיירים/משתמשים, ועלייה בפרודוקטיביות של עובדים, תלמידים וסטודנטים. במחקר אחד למשל, נמצא שחיסכון באנרגיה לבדו יביא להחזר ההשקעה בגין בנייה ירוקה בתוך שש שנים (ואפילו מהר יותר אם מחירי אנרגיה ימשיכו לעלות), וכן שבמהלך 20 שנים ההחזר הכלכלי יהיה פי 4 עד פי 6 גבוה יותר מפרמיית העלות הראשונית.⁴ שיעור ההחזר תלוי בין היתר במחירי אנרגיה ומים, תמריצים כלכליים, והתנהגות דיירים, אשר משתנים, לעיתים באופן ניכר, בין מקום למקום. מחקר נוסף מצא שמעבר לבנייה ירוקה הביא לירידה של 39% בניצול ימי מחלה, דבר שהביא לחסכון של 44% בהוצאות העסק על תחלואה.⁵ אותו מחקר גם מצא בבניינים ירוקים עלייה של 9% במהירות הכתיבה של מזכירות ושיפור בדיוק, וכן שיפורים בעוד מספר מדדים של פרודוקטיביות של עובדים. מחקרים אחרים רבים מראים ממצאים התומכים במגמות אלו.⁶

¹ כיוון שטרם ניבנו בניינים אשר קיבלו תקן 5281 בגרסת 2011, המבנים הנחקרים הם כאלו אשר קיבלו תקן לפי גרסת 2005 של התקן.

² World Green Building Council, 2008.

³ World Business Council on Sustainable Development 2007. נתון ה- 17% הינו ממוצע. בהודו למשל העריכו שבנייה ירוקה תהיה יקרה יותר ב 11% לעומת בנייה קונבנציונלית, ובסין ההערכות הגיעו עד ל 28%.

⁴ Kats 2006

⁵ Sustainability Victoria and the Kador Group (undated)

⁶ לדוגמא, Kats, 2008; Addae-Dappah et al 2010; Sustainability Victoria and the Kador Group (undated); Miller et al 2009.

מנקודת מבטם של היזמים, מחקרים שונים מצאו שבניינים ירוקים נמכרים במחיר גבוה של עד 31% יותר מבניינים קונבנציונליים דומים, ושמחיר ההשכרה של יחידות בבניינים ירוקים גבוה ב- 6-16% בהשוואה לבניינים קונבנציונליים.⁷ בנוסף, ככל הנראה בניינים ירוקים נמכרים מהר יותר מבניינים קונבנציונליים ונהנים מתפוסה גבוהה יותר. לסיכום, מסקירת הספרות המחקרית בחו"ל עולה שבנייה ירוקה יקרה מבנייה קונבנציונלית באחוזים בודדים בלבד, ולעיתים, כלל לא נמצא הבדל בעלויות בין שתי שיטות הבנייה. בנוסף, נמצא כי לבנייה ירוקה השפעות חיוביות שונות המביאות לתועלת כלכלית ניכרת, אשר לעיתים קרובות גדולה מהעלויות של שיטת בנייה זו.

מתודולוגיה ושלבי המחקר

המחקר הנוכחי בוצע לפי מתודולוגיה המתבססת על בחינה של העלויות בפועל לפי הצהרות היזמים של רכיבים ירוקים אשר הוטמעו במקרי המבחן (ושונים בעלותם מרכיבים בבנייה קונבנציונלית⁸), והשוואתן להערכת העלויות בבניין ייחוס קונבנציונלי העומד בדרישות חוקי ותקנות הבנייה בישראל (בכללן למשל תקן 1045 – בידוד תרמי של בניינים). הסיבות העיקריות לבחירת מתודולוגיה זו הן:

- ההסתמכות על עלויות בפועל של רכיבים ירוקים הינה מדויקת יותר בהשוואה להסתמכות על הערכות בלבד של עלויות רכיבים אלו.
- ההסתמכות על הערכות בבנייה קונבנציונלית הינה מדויקת יחסית, וזאת לאור הניסיון הרב שיש ליזמים וקבלנים בבנייה זו.
- אין צורך בבסיס רחב של נתונים אודות בניינים ירוקים רבים, בסיס אשר אינו קיים עדיין בישראל היות והיקף יישום הבנייה הירוקה הינו מצומצם.

המחקר בוצע בשלושה שלבים:

בשלב הראשון זוהו הרכיבים בבניין הנבדק אשר נחשבים "ירוקים", וזאת על פי הסעיפים המפורטים בתקן 5281. עבור כל הרכיבים הללו נאספו מהיזמים הנתונים אודות עלותם בפועל. נתוני עלות אלו נבדקו ע"י יועץ חיצוני,⁹ אנשי מקצוע שונים החברים במועצה הישראלית לבנייה ירוקה, ובמידת הצורך הושאו למחירי שוק של ספקים שונים מתחום הבנייה. שלב זה מהווה שלב עיקרי במחקר.

בשלב השני בוצעה השוואה בין העלות בפועל של הרכיבים הירוקים בבניינים הנבדקים, לבין הערכת עלות רכיבים דומים (במידה והיה צורך בכך) בבנייה קונבנציונלית.¹⁰ חישוב זה נותן את עלות ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה בהשוואה לבניין ייחוס שנבנה בצורה קונבנציונלית עבור כל אחד מהרכיבים.

⁷ Eichholtz et al 2009, Fuerst and McAllistor 2009, Fuerst and McAllistor 2011

⁸ בחישוב נלקחו בחשבון רק אותם רכיבים ירוקים אשר עלותם שונה מרכיבים בבנייה רגילה. כך למשל לא נלקח בחשבון הבטון של הרצפות, אשר משמש כמסה תרמית, היות ומדובר באותו בטון (עובי ועלות) אשר היה משמש בבניין קונבנציונלי

⁹ מר משה בן חמו, מנכ"ל אלפא פריזמה- חברה לניהול פרויקטים בבנייה
¹⁰ הערכת העלויות בבנייה קונבנציונלית התקבלה מחברת אלפא פריזמה- חברה לניהול פרויקטים בבנייה

בשלב השלישי בוצע ניתוח של הממצאים באופן פרטני ואח"כ בוצע ניתוח השוואתי בין שני מקרי המבחן.

עיקרי הממצאים ומסקנות¹¹

מהמחקר עולה שסך ההשקעה הנוספת בגין רכיבים ירוקים בבניין 304 ובבניין 1 הינה 685,991 ₪ ו-918,366 ₪ בהתאמה, ושיעורה ביחס לעלות הבניינים הוא 4.1% ו-2.1% בהתאמה. שיעור זה תואם את משרע הממצאים ממחקרים דומים בחו"ל, הנע בין 0% ל-3% עבור תוספת עלות ממוצעת, ובין 1% ל-11% עבור תוספת עלות לתקן ירוק ברמות הסמכה גבוהות.¹² סך ההשקעה הנוספת בממוצע לדירה הינה 26,384 ₪ בבניין 304 ו-12,084 ₪ בבניין 1.

מהשוואת הממצאים של שני הבניינים עולה כי ניכרת שונות בגובה ההשקעה בסעיפים שונים בין הבניינים. הדבר משקף את הגמישות הקיימת בתקן 5281, אשר מאפשר לכל יזם לבחור את הרכיבים הירוקים השונים אותם הוא מעוניין ויכול ליישם בבניין, בכדי לצבור מספיק נקודות המאפשרות לו לקבל את התקן. עם זאת, בשני הבניינים נמצא כי ההשקעה בהרכב חתך קירות חיצוניים נמנית מבין ההשקעות המשמעותיות ביותר. ההשקעה ברכיבים המספקים חיסכון אנרגטי (לפי תקן 5281) הינה הגבוהה ביותר ביחס לשאר פרקי התקן. ההשקעה ברכיבים פאסיביים (בידוד קירות חיצוניים, זיגוג מבודד וכו') גבוהה באופן משמעותי מההשקעה במערכות.

¹¹ כל המחירים במחקר הינם ללא מע"מ אלא אם צוין אחרת
¹² שני הבניינים קיבלו תקן ירוק בדירוג גבוה (מצטיין)

להלן טבלה המשווה את הממצאים העיקריים לגבי עלויות הרכיבים ב בניין 304 וב בניין 1 (כל המחירים במחקר הינם בשקלים של 2011 וללא מע"מ אלא אם צוין אחרת):

נושא	בניין 304	בניין 1
סך עלות ההשקעה הנוספת לעומת בניין הייחוס (אופציה א)	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 ₪)
חלקם היחסי של רכיבים שונים בעלות ההשקעה הנוספת (וכאחוז מעלות הבניין) לפי תקן 5281: ¹³		
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%)
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%)
חלקם היחסי של רכיבים פאסיביים ומערכות בעלות ההשקעה הנוספת (וכאחוז מעלות הבניין): ¹⁴		
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%)
ההשקעות המשמעותיות ברכיבים פאסיביים (מתוך סך ההשקעות ברכיבים פאסיביים)	קירות חיצוניים 31% זיגוג 21%	קירות חיצוניים כולל ממ"ד 26% ליווי יועצים ירוקים 11% זיגוג 10% פרגולות בקומות 19 ו 20 10%
ההשקעות המשמעותיות במערכות (מתוך סך ההשקעות במערכות)	מערכת סולארית 25% פיקוד מרכזי והכנה לבית חכם 22% שימוש במי עיבוי מזגנים להשקיה 14%	פיקוד מרכזי לתאורה ומיזוג 46% מאווררי תיקרה 33%

טבלה 1. סיכום הממצאים העיקריים של עלויות הרכיבים הירוקים ב בניין 304 וב בניין 1

¹³ לפירוט הרכיבים השונים ראו טבלאות 3-4 ו 4-5
¹⁴ לפירוט הרכיבים השונים ראו טבלאות 3-4 ו 4-5

חשוב להדגיש שעלות ההשקעה הנוספת בבנייה ירוקה בשיעור מסוים אין משמעותה עליה במחיר הדירה לצרכן באותו שיעור אלא בשיעור נמוך הרבה יותר. הממצאים במחקר זה מצביעים על כך שעלויות ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה בבניין 304 ובבניין 1 הן 4.1% ו 2.1% בהתאמה. אך חישוב זה לוקח בחשבון את עלות ההשקעה הנוספת כאחוז מעלות הבנייה של הבניין ולא כאחוז ממחיר הדירות לצרכן.¹⁵ עלות הבנייה של הבניין אינה כוללת עלות קרקע, רווחי יזם, מיסים, וכד', אולם עלויות אלו כן מגולמות במחיר הדירה לצרכן. עלות הקרקע ורכיבי המיסים השונים מוערכים בכ- 50% ממחירי הדירות בישראל (רכיב הקרקע המפותחת מגיע לכ- 30% ממחיר הדירה ורכיבי המיסים השונים – מע"מ, מס רכישה, מס שבח, היטל השבחה ודמי היתר על קרקעות ממ"י – מגיע לכ- 20% ממחיר הדירה).¹⁶ אם נניח שאכן עלות הבנייה בבניינים אלו מהווה 50% מהמחיר הכולל של הבניין לצרכן, הרי שתוספת העלות לצרכן בגין ההשקעה בבנייה ירוקה הינה סביב 2% בלבד ממחיר הדירה בבניין 304 וסביב 1% בבניין 1.¹⁷

בנוסף, היות וענף הבנייה הירוקה בישראל נמצא בראשיתו, יתכן וחלק מהעלויות ליזם אשר נסקרו במחקר, הינן עלויות חד פעמיות של התלמדות וכניסה לשוק. סביר גם להניח שבעתיד התחרותיות בענף תגדל והטכנולוגיות ישתכללו, ומטעמים אלו ניתן להניח שהעלויות הנוספות בגין בנייה ירוקה לפי תקן 5281 בגרסתו משנת 2005 ירדו בעתיד. מצד שני, היות ותקן 5281 בגרסתו החדשה משנת 2011 הינו מפורט ותובעני יותר, ייתכן והדבר יתבטא שוב בעלויות גדולות יותר בגין בנייה ירוקה בעיקר בשלבים הראשונים ליישום התקן. לכן בשלב זה קשה להעריך האם בסה"כ עלויות ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה ירדו או יעלו בעתיד.

על אף שמסגרת המחקר הנוכחי לא כללה סקירה מקיפה של תועלות מבנייה ירוקה, נערך ניתוח של החיסכון הנדרש בצריכת חשמל ומים על-מנת להחזיר את ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה בפרק זמן של 30 שנה.¹⁸ מניתוח זה עולה כי בהנחה שמחירי חשמל ומים ימשיכו לעלות כפי שעלו בשנים האחרונות,¹⁹ עם שער ניכיון של 3%, ובהתאם להנחה בה 90% מהחיסכון מקורו בחיסכון בחשמל ו 10% מקורו בחיסכון במים, על כל דירה לחסוך בחודש בממוצע 175 קוט"ש ו 0.5 קוב מים בבניין 304, ו 80 קוט"ש ו 0.2 קוב מים בבניין 1.²⁰ בהשוואה לצריכה הממוצעת בישראל,²¹ בכדי להחזיר את ההשקעה הנוספת בבנייה ירוקה בפרק זמן של 30 שנה ובהנחות הנ"ל, נדרש חיסכון של 27.5% בצריכת האנרגיה ו-3.8% בצריכת המים במקרה של בניין 304, וחיסכון של 12.6% באנרגיה ו-1.7% במים במקרה של בניין 1. (להרחבה ולתרחישים נוספים ראו פרק 7).

¹⁵ עלות הבנייה של בניין 304 היא 17.5 מיליון ש"ח ושל בניין 1 היא 45 מיליון ש"ח. חישוב עלות ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה עבור בניין 1 למשל הוא $2.1\% = (45,000,000 - 918,366) / 45,000,000$
¹⁶ חקלאי רן 2009, תמלוגים עבור חומרי גלם למשק הבנייה והסלילה ניתוח מצב קיים והמלצות למדיניות, ע"מ 32
¹⁷ השאלה בכמה דירה ירוקה תהיה יקרה יותר מדירה קונבנציונלית נותחה משתי זוויות שונות המתכנסות לסדרי גודל הלול. להרחבה ראה פרק 8 - סיכום ומסקנות
¹⁸ לפירוט ראה פרק 7: החיסכון הנדרש להחזרת ההשקעה הנוספת
¹⁹ המחיר הריאלי של חשמל עלה בממוצע ב 0.8% בשנה ב-10 השנים בין יולי 2002 ויולי 2012, ואילו המחיר של התעריף הגבוה ביותר למים עלה 4.37% בשנה בין יולי 1997 ויולי 2012.
²⁰ ההבדל בדרישות החיסכון בין הבניינים נובע מהשונות בעלות ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה בין הבניינים
²¹ לשם השוואה, צריכת חשמל חודשית ממוצעת למשק בית בישראל ב-2010 הייתה 635 קוט"ש (חברת החשמל 2011), וצריכת מים ממוצעת למשק בית ב-2010 הייתה 13.3 קוב (על סמך נתונים בדאובר 2011, והלמ"ס 2012).

מגבלות המחקר והמלצות למחקרי המשך

חשוב לציין כי קיימים היבטים כלכליים משמעותיים של בנייה ירוקה הן לדייר והן ליזם אשר מסגרת המחקר הנוכחי לא הקיפה, וביניהם:

- תועלות כלכליות ישירות מבנייה ירוקה – חסכון ישיר לדיירים בצריכת אנרגיה ומים;
- צמצום תחלואה בקרב דיירים – הודות לתאורה טבעית, אוורור טבעי מוגבר, שימוש בחומרים ידידותיים לאדם ועוד²²;
- הקטנת עלויות סביבתיות חיצוניות כגון פסולת בניין, זיהום אוויר ועוד;
- הבדלים במחירי הדירה לצרכן;
- הבדלים בקצב מכירה ואכלוס הבניינים;
- הבדלים במתן אשראי.

לאור החשיבות הרבה של בנייה ירוקה ולאור הגידול הצפוי בבניינים ירוקים בישראל, מומלץ לקיים מחקרי המשך אשר יבחנו את התועלות הכלכליות מבנייה ירוקה. בכדי להעריך את החיסכון הצפוי באנרגיה ניתן למשל להיעזר בבדיקה תפקודית על-יד מודל ממוחשב של הבניין הנבחר כולו, ולהעריך כמה הוא עשוי לחסוך. בכדי להעריך את החיסכון בפועל ניתן לאסוף נתונים אודות צריכת החשמל והמים של הדיירים בבניינים ירוקים, ולהשוות אותם לנתוני צריכה של דיירים בדירות קונבנציונליות דומות.

בכדי להעריך את התועלות ליזמים מבנייה ירוקה, מומלץ לבצע מחקרים אשר יבדקו את ההבדלים בקצב המכירה והאכלוס של בניינים ירוקים, מחירי הדירות והמשרדים לצרכן במכירה ובהשכרה, והבדלים במתן אשראי לפרויקטים של בנייה ירוקה לעומת בנייה קונבנציונלית.

בנוסף, בכדי לבסס את הממצאים אשר עלו ממחקר זה אודות העלות הנוספת בגין בנייה ירוקה, ועל מנת להרחיב את מאגר המידע שנבנה, מומלץ להמשיך ולערוך מחקרי המשך הדומים במהותם למחקר הנוכחי. כיוון שתקן 5281 עבר רפורמה מקיפה בשנת 2011, מומלץ לערוך מחקרים גם אודות בניינים אשר הוסמכו לפי התקן במתכונתו החדשה. כמו כן, במקום להשוות לבניין ייחוס תיאורטי, ניתן להשוות בניינים ירוקים לבנייני ייחוס קונבנציונליים שקיימים בפועל במידה והם דומים ברמה מספקת לבניינים הירוקים.

²² במידה ומחקרי המשך יבחנו למשל בנייני משרדים או מוסדות חינוך ירוקים מומלץ לבדוק בנוסף גם שינויים בפרודוקטיביות בקרב העובדים והתלמידים

1. מבוא

בעשור האחרון אנו עדים לגידול הולך וגובר בבנייה ירוקה בעולם כולו ובישראל בפרט. בנייה ירוקה מתמקדת בצמצום תשומות האנרגיה והמים הדרושות לבניית והפעלת המבנים, לצד צמצום כמות המשאבים הנצרכים והנזקים הסביבתיים הנגרמים בזמן הקמתם, כמו גם שואפת לייצר סביבת פנים בריאה ונעימה לשימוש. לשם השגת מטרות אלו בנייה ירוקה שמה דגש על תכנון חכם המתחשב בתנאי האקלים המקומיים (שמש, רוח, לחות, צל ועוד), בידוד הבניין מסביבתו החיצונית ושימוש במסה תרמית על מנת לחסוך בצריכת אנרגיה לחימום וקירור החללים, הגברת האוורור והתאורה הטבעיים, שימוש בחומרים ידידותיים לאדם ולסביבה, יישום מערכות חכמות לחיסכון ומיחזור משאבים ועוד.

מקורותיה של ההתעניינות הגוברת בבנייה ירוקה הינם מגוונים. ברמת הצרכנים, לאור העלויות ההולכות וגדלות של צריכת חשמל ומים בישראל, גובר הצורך בהתייעלות וחסכון. ברמה לאומית, בנייה ירוקה היא מרכיב חיוני ובר השפעה רבה על תכנון סביבתי, בטחון אנרגיה ומים, וכן מנוע מרכזי לצמיחה כלכלית ירוקה. בנוסף, היות ובניינים אחראים לעד 40% מצריכת האנרגיה בעולם, והיות והמגזר הביתי בישראל הוא המגזר בעל צריכת המים הגבוהה ביותר, כמו גם צרכן מרכזי של חומרי גלם לבנייה ויצרן משמעותי של פסולת מוצקה, לבנייה ירוקה יש פוטנציאל רב בהפחתת צריכת משאבים מחד וצמצום פסולת ונזקים סביבתיים מאידך. יתרה מזאת, ברמה הבינלאומית, אם וכאשר יהיו אמנות המשך לאמנת קיוטו לצמצום פליטות גזי חממה, ישראל תצטרך להפחית משמעותית את טביעת הרגל הפחמנית שלה, תהליך אשר לבנייה ירוקה צפוי להיות בו תפקיד מרכזי. לאור כל זאת, ב-2005 נכתב בישראל תקן לבנייה ירוקה (תקן 5281 של מכון התקנים), תקן אשר עבר עדכון מקיף ב-2011. כמו כן, רשויות מקומיות שונות אף הן מקדמות אוגדנים לבנייה ירוקה בתחומיהן, וחלקן אף אימצו את התקן לבנייה ירוקה עבור בנייה חדשה. למהלכים אלו יש השפעה ניכרת על חברות הבנייה והיזמים.

למרות ההתעניינות ההולכת וגוברת בבנייה ירוקה בישראל, תחום זה נמצא עדיין בצעדיו הראשונים. אמנם קיים מספר הולך וגדל של בניינים אשר הוסמכו על פי התקן הישראלי 5281, או נמצאים בתהליכי בנייה והסמכה בימים אלו, אך טרם הצטברה מסה קריטית של בניינים ירוקים כך שעדיין קשה להצביע על השפעה משמעותית על שוק הנדל"ן הישראלי. אחד מהחסמים ליישום נרחב של בנייה ירוקה הוא אי הוודאות לגבי העלויות והכדאיות הכלכלית של שיטת בנייה זו יחסית לבנייה קונבנציונלית, וכפי שמפורט בסקירת הספרות, חשש זה אינו ייחודי לישראל. בעוד בחו"ל קיימים מספר מחקרים אשר בדקו והשוו בין עלויות ותועלות של בנייה ירוקה ובנייה קונבנציונלית, בארץ כמעט ולא נעשו עבודות אמפיריות שניתחו את הנושא.

מטרתו של מחקר זה היא להתחיל לחקור ולאמוד את העלויות הכלכליות של בנייה ירוקה בישראל, ולבנות בסיס מושגים ונתונים לעלויות אלו. המחקר מנתח את העלויות הכלכליות של בנייה ירוקה ומשווה אותן לעלויות של בנייה קונבנציונלית, בהתבסס על שני מקרי מבחן של בנייני מגורים אשר

קיבלו תו ירוק בדרגת מצטיין לפי תקן 5281.²³ הבניין הראשון הוא "בניין 304" שנבנה על-ידי קבוצת חנן מור בנס- ציונה. הבניין השני הוא "בניין 1" שנבנה בנתניה ע"י קבוצת שיכון ובינוי נדל"ן. בכך אנו מקווים לזהות באיזו מידה ובאיזה אופן נבדלות עלויות הבנייה הירוקה מבנייה קונבנציונלית הרווחת בשוק. מידע זה עשוי להיות שימושי למספר רב של בעלי עניין לרבות יזמים, צרכנים, דיירים, מקבלי החלטות וקובעי מדיניות. כאמור, אנו מקווים שמחקר זה, שהוא חלוצי מסוגו בישראל, יהווה בסיס לאיסוף מידע על פרויקטים נוספים שייבנו, וזאת על-ידי אימוץ המתודולוגיה המוצעת לכדי יצירת מאגר מידע רחב בתחום עלויות הבנייה הירוקה בישראל לצרכיהם השונים של בעלי העניין הנ"ל.

מבנה המחקר:

פרק 2	סקירת ספרות של מחקרים העוסקים בנושא כדאיות כלכלית של בנייה ירוקה ברחבי העולם.
פרק 3	שיטות מחקר - סקירה של מתודולוגיות לחישוב עלויות ותועלות כלכליות של בנייה ירוקה בהשוואה לבנייה קונבנציונלית, ופירוט המתודולוגיה הנבחרת לביצוע מחקר זה.
פרקים 4,5	ניתוח מקרי מבחן של שני בנייני מגורים (בניין 304 ובניין 1) אשר נבנו לפי תקן 5281 (גרסת 2005) והשוואת עלויות הבנייה שלהם לאלו של בנייני ייחוס תאורטיים שתוכננו לפי שיטות קונבנציונליות.
פרק 6	ניתוח השוואתי של הממצאים בפרקים 4 ו 5.
פרק 7	ניתוח החיסכון הנדרש בצריכת חשמל ומים על מנת להחזיר את ההשקעה הנוספת בבנייה ירוקה כפי שנמצאה בפרקים 4 ו 5.
פרק 8	סיכום המחקר, דיון בממצאי העבודה, הצגת מסקנות והצעת כיווני מחקר עתידיים.
פרק 9	ביבליוגרפיה
פרק 10	נספחים: א. חישובי עלויות זיגוג, ב. חישובי בידוד תרמי של בנייני הייחוס.

²³ כיוון שטרם ניבנו בניינים אשר קיבלו תקן 5281 בגרסת 2011, המבנים הנחקרים הם כאלו אשר קיבלו תקן לפי גרסת 2005 של התקן.

2. סקירת ספרות

א. זיהוי עלויות ותועלות

העלייה המתמדת ביישום בנייה ירוקה בעולם אפשרה במהלך העשור האחרון לבצע מספר ניתוחים כלכליים, תיאורטיים ואמפיריים, של עלות בנייה ירוקה לעומת עלות בנייה קונבנציונלית. מחקרים אלו ניסו לאשר או להפריך הנחות נפוצות לגבי הרווחיות הכלכלית של בנייה ירוקה. למרות החיוניות של בנייה ירוקה בישראל, עד כה נושא זה לא נחקר בישראל באופן מעמיק. פרק זה מציג סקירה ועורך סינתזה של מספר מחקרים שנערכו בחו"ל. מירב המחקרים הנסקרים נערכו בצפון אמריקה, וחלקם המצומצם נערך במדינות אירופה ובאוסטרליה. השוואות בין אזורים שונים לרבות ישראל הינן מוגבלות, מכיוון שבכל אזור קיימים גורמים ייחודיים המשפיעים על הבנייה כגון חוקים ותקנות, סטנדרטים לבנייה ירוקה, שוק נדל"ן, עלויות בנייה ועלויות נלוות. למרות זאת, הסקירה מעניקה תובנות למגמות כלליות שנמצאו, כמו גם תובנות לגבי ההיבטים השונים של בנייה ירוקה, ניתוח כלכלי, וטווח המתודולוגיות הזמינות להערכתם.

מחקרים כלכליים של בנייה ירוקה נטו להתמקד באחד או יותר מההיבטים הבאים:

(א) עלויות תכנון ובנייה

(ב) עלויות תפעול ותחזוקה

(ג) תועלת כלכלית משיפור בתפוקת עובדים (במבני משרדים)

(ד) הפחתת סיכונים ועלויות ביטוח

(ה) תועלות סביבתיות

(ו) ערך הנכס בשוק הנדל"ן (מכירות והשכרות)

עלויות תכנון ובנייה. ניתן לצפות שעלויות תכנון ובנייה ישתנו בין בנייה קונבנציונלית לבנייה ירוקה, למשל בשל השוק המצומצם יחסית של מתכננים ומבצעים בעלי ההכשרה והניסיון הנדרשים, ובשל הצורך בחומרים ורכיבים ייחודיים.

עלויות תפעול ותחזוקה. עלויות תפעול ותחזוקה יהיו שונות אף הן משום שבניינים ירוקים מתוכננים עם רכיבים פאסיביים ומערכות אקטיביות לשימור וחסכון של אנרגיה ומים. בהתחשב בכך שבמהלך חיי הבניין, הוצאות התפעול והתחזוקה גדולות באופן משמעותי מעלויות הבנייה עצמה,²⁴ החיסכון בעלויות אלו משמש הצדקה כלכלית לבנייה ירוקה. מכאן שהחיסכון ארוך הטווח של בניינים ירוקים,

²⁴ NBI 2004 למשל, דיווחו שבמהלך 20 שנה, הוצאות תפעול של בנייני משרדים היוו משקל רב יותר מעלויות בנייה בכ- 50%

הינו גורם משפיע הן בשוק הנדל"ן והן בדינוי מדיניות שונים. לכן, מרבית התקנים הלאומיים והבינלאומיים לבנייה ירוקה (למשל LEED) מעניקים משקל רב לחיסכון באנרגיה.

תועלת כלכלית משיפור תפוקת עובדים. בנוסף לחיסכון בצריכת אנרגיה ומים, מחקרים רבים מצאו כי בניינים ירוקים משפיעים באופן חיובי על גידול בתפוקה של משתמשי המבנה, בין היתר בשל שפע תאורה טבעית והפחתת זיהום אוויר בפנים החלל, דבר המביא לירידה במספר ימי היעדרות. נקודה זו רלוונטית במיוחד לגבי מבנים מסחריים, שכן ערכה הכלכלי של הפעילות העסקית הינה גדולה בהרבה מעלויות הבנייה ומעלויות התפעול ותחזוקה.²⁵ נושא זה הינו בעל השלכות גם על מבני ציבור כגון משרדי ממשלה ובתי ספר, ומכאן שערכן של תועלות אלו צפוי להיות גבוה מעלויות הבנייה עצמן. שיפור תפוקת עובדים ושיפורים בבריאותם של עובדים, תלמידים ודיירים יכולים להוות עד 70% מהערך הכלכלי הנוסף של בנייה ירוקה בהשוואה לבנייה קונבנציונלית.²⁶ מחקר אחד למשל, מצא שלאחר ביצוע שיפוץ ירוק (שיפוץ המתבצע עפ"י תקני בנייה ירוקה) נמצאה ירידה של 39% בניצול ימי מחלה, מה שהביא לחסכון של 44% בהוצאות העסק על תחלואה.²⁷ אותו מחקר גם מצא שלאחר שיפוץ ירוק חלה עלייה של 9% במהירות הכתיבה של מזכירות ושיפור בדיוק, וכן שיפורים בעוד מספר מדדים של פרודוקטיביות של עובדים. מחקרים אחרים רבים מראים ממצאים התומכים במגמות אלו.²⁸

הפחתת סיכונים ועלויות ביטוח. קיימים ממצאים אשר מעידים על כך שבניינים ירוקים שונים מבניינים קונבנציונליים גם במושגים של חביות וסיכונים פיננסיים, ומכאן שגם עלויות הביטוח כנגד סיכונים שכאלה יהיו שונות.²⁹ מחויבויות אלו, יכולות להיות מקושרות להיבטים פיזיים של מבנה, או לסיכוני שוק (כגון סיכון המקושר עם תנודות שוק, קצב מכירה ואיכלוס ותעריפי תפוסה).

עלויות סביבתיות. ההנחה הרווחת לגבי בניינים ירוקים היא שהעלויות הסביבתיות השליליות הנגרמות על-ידם הינן פחותות מאלו הנגרמות על-ידי בניינים קונבנציונליים וזאת בשל צמצום הנזקים הנגרמים מצריכת משאבים ופליטת זיהום אוויר. Glaeser and Kahn חישבו שאם עלויות חיצוניות מפחמן היו מתומחרות כראוי, תוספת העלויות הממוצעת לכל יחידת דיור קונבנציונלית היתה נעה בין \$830 ל-\$1410 לשנה, בהתאם לתנאים אקלימיים ולצפיפות אוכלוסין.³⁰

²⁵ Harmann 2009 דיווח שבממוצע, ההוצאות השוטפות של עסקים במבני מסחר היו גבוהות פי 15 מעלויות הבנייה של המבנים עצמם. המועצה לעסקים ירוקים בארצות-הברית (United States Green Business Council) דיווחה שעלויות עובדים מהוות 90% מהממוצע השנתי של הוצאות חברה, ועל כן החשיבות הכלכלית לבריאותו של עובד ולפרודוקטיביות משופרת (USGBC 2005).

²⁶ Kats et al 2003

²⁷ ; Sustainability Victoria and the Kador Group (undated)

²⁸ לדוגמא, (undated), Kats, 2008; Addae-Dappah et al 2010; Sustainability Victoria and the Kador Group

²⁹ Miller et al 2009

²⁹ למשל, Greenbiz 2006, Slavin 2009

³⁰ Glaeser and Kahn 2010

ההבדלים נטו בעלויות סביבתיות ניתנים לבדיקה רק באמצעות ניתוח מחזור חיים מלא.³¹ מכיוון שעלויות אלה אינן מוטלות על העוסקים בפיתוח הנכס, בעלי הבית, או הדיירים- הן אינן באות לידי ביטוי במחירי בנייה או שכירות.

הערך הקמעונאי הנדל"ני. ניתן לצפות שהשווי הקמעונאי של נכס - הנמדד בשווי המכירה או בשווי ההשכרה - יכלול את השווי (במושגים של הערך הנוכחי הנקי (Net Present Value (NPV של המבנה לטווח ארוך ויכלול את עלות הבנייה, ובנוסף את צפי הצרכן לגבי עלויות תפעול ותחזוקה, הפרשי התפוקה, והביטוח. כפי שצוין לעיל, בהיעדר רגולציה מחייבת, מחיר הנכס בשוק אינו צפוי לשקף את העלויות החיצוניות משום שהן לא מהוות עלות או תועלת ליזם או לבעלי הנכס.

חלוקת עלויות ותועלות בניתוח עלות תועלת של בנייה ירוקה. לעיתים קרובות, הערכות של ניתוח עלות-תועלת של בנייה ירוקה אינן מבחינות בין אלו הנושאים בעלויות לבין אלו הנהנים מהתועלות. לדוגמה, קבלנים יושפעו בראש וראשונה מעלויות בנייה, בזמן ששוכרים יושפעו בעיקר מעלויות שוטפות ומהבדלים בתפוקה. Lucuik et al מתארים שבע קבוצות שונות של בעלי עניין, כל אחת עם עניין כלכלי שונה בבנייה ירוקה: דיירים, שכנים, בעלים, יזמים, מתכננים, משקיעים/מלווים וממשל המתפצל לממשל מקומי, אזורי ולאומי (איור 2-1).³² לרשימה זו יש להוסיף גם בעלי עניין סביבתיים. כמו כן חלוקת התועלות מבנייה ירוקה משתנה בין סוגי בניינים ושימושים שונים: מפעל יכול לזכות בהחזר כלכלי ישיר על התייעלות העובדים, אבל בית ספר לא בהכרח יקבל החזר כלכלי על שיפור בנוכחות ו/או בביצועים של תלמידיו. לפיכך, סוגים שונים של מימון ו/או תמיכה ממשלתית עשויים להיות נחוצים על מנת לקדם אימוץ בנייה ירוקה במגזרים שונים.

הבנה הן של סוגי העלויות והתועלות והן של חלוקתם בין בעלי העניין השונים, חיונית להבנת התמריצים שכל בעל עניין יבחן, ולגיבוש מדיניות ציבורית אפקטיבית ויעילה. לדוגמה, בעלי נכס יהיו ככל הנראה נכונים לשלם מחיר רכישה גבוה יותר עבור בניינים ירוקים, במידה ויהיו סבורים שעלויות אלה יוחזרו דרך עלויות תפעול ותחזוקה נמוכות או דרך מחירי שכירות גבוהים יותר. אף על פי כן, במקרים אחרים בנייה ירוקה יכולה להיות יעילה כלכלית, רק כאשר העלויות הסביבתיות החיצוניות נלקחות בחשבון. במקרים כאלה סבסוד ממשלתי יכול להיות מוצדק ונחוץ לשם הפגמת עלויות ותועלות חיצוניות במחירי הנדל"ן וכך לקדם את יישום הבנייה הירוקה.

³¹ כלים רבים זמינים לצורך עריכת ניתוח מחזור חיים של בניינים. ראה, למשל:
<http://www.buildingecology.com/sustainability/life-cycle-assessment/life-cycle-assessment-software>,
<http://www.wbdg.org/resources/lcca.php>
³² Lucuik et al 2005

↑ תועלת עולה		הדייר	השכן	הבעלים	היזם	המחנך	המשקיע/המממן	הממשלה המקומית	הממשלה האזורית	הממשלה הלאומית
כלכלית										
בריאות הדייר/העובד										
הפחתת סיכונים										
השפעת שינוי אקלים										
אקולוגית										
תלות מופחתת בתשתיות										
נוחות הדייר										

איור 2-1. חלוקת תועלות מבנייה ירוקה (על פי Lucuik et al 2005)

היות והסקירה הנוכחית מתמקדת בכדאיות הכלכלית מנקודת מבטו של היזם ושל בעל הנכס, יתרת סקירת ספרות זו תתמקד במחקרים שהעריכו את עלויות הבנייה. כמובן שעל מנת להקיף את סך התועלות והעלויות של בנייה ירוקה לעומת בנייה קונבנציונלית יש לבחון את כלל העלויות והתועלות החברתיות – סביבתיות של הבנייה. למטרות מחקר זה, סקירת המחקרים המעריכים סוגים אחרים של עלויות, שאין עלויות בנייה או תחזוקה, תהיה קצרה על-מנת לתת היבט בסיסי להבנה טובה יותר של העלויות הניתנות להשבה. עם זאת, טרם שתובא סקירת תוצאות ממשיות ממחקרים שנערכו בעולם - מציע תת הסעיף הבא סקירה של מתודולוגיות שונות הנמצאות בשימוש לביצוע הערכות כלכליות של בנייה ירוקה.

ב. עלויות בנייה – סקירה השוואתית

החשש מפני עלויות נוספות בגין בנייה ירוקה מודגש לעיתים קרובות כאחד החסמים העיקריים לכניסה של יזמים לתחום.³³ בסקר שנערך בקרב יותר מ-700 מומחי בנייה מרחבי העולם על ידי ה-World Green Building Council, 77% היו בדעה שעלויות ראשוניות גבוהות מהוות מכשול ליישום בנייה ירוקה.³⁴ כדי לבדוק אמינות הערכות אלו המבוססות אך ורק על דעותיהם של קבלנים, נערכו מספר רב של מחקרים אמפיריים אשר בדקו את העלויות בפועל בצורה מדויקת יותר. רובם הגדול של מחקרים אלו מצאו שהפרשי העלויות בין בנייה ירוקה וקונבנציונלית פחות משמעותיים מהדעות

³³ Greenspirit Strategies, Ltd. 2004; World Green Building Council 2008; Hoffman and Henn 2008; Pinkse and Dommissie 2009, Galuppo and Tu 2010
³⁴ World Green Building Council 2008

הרווחות על ידי קבלנים.³⁵ לדוגמא, סקר שנערך על-ידי World Business Council for Sustainable Development מצא כי יזמים העריכו שעלות הבנייה של בניין ירוק תהיה גבוהה ב-17% בממוצע מזו של בנייה קונבנציונלית.³⁶ הערכות אלו היו גדולות פי שלושה ויותר מהעלויות בפועל כפי שצינו במחקר עצמו. חוסר הידע ותפיסות נפוצות שגויות לגבי עלויות ממשיות ותועלות של בניינים ירוקים, מהווים אתגר משמעותי לקידום היישום של הבנייה הירוקה.³⁷ כפי שסקירת פרסומים זו מראה, הפרשי העלות בפועל בין בנייה ירוקה לבנייה קונבנציונלית, מתבטאים באחוזים בודדים בלבד, והם לעיתים קרובות בטווח העלויות המקובלות עבור בניין קונבנציונלי. לסיכום, מחקרים רבים מציגים הערכות של מומחים לגבי עלויות של בנייה ירוקה, אך רמת הדיוק של הערכות אלה מוטלת בספק ונוטה להגזמה. לכן, הערכות מסוג זה אינן מהוות תחליף מספק למחקר אמפירי של עלויות בפועל.

אחד המחקרים המוקדמים והמצוטטים ביותר משווה בין העלויות של בנייה קונבנציונלית לעלויות של בנייה ירוקה. Kats et al חקרו 33 בניינים מוסמכי LEED בקליפורניה, ומצאו שבניית בניינים מוסמכים עולה בממוצע 1.84% בלבד יותר מבנייה קונבנציונלית. תוספות העלות נעו בין 0.66% עבור הסמכת LEED בסיסית לבין 6.5% להסמכת LEED Platinum, שהוא הדירוג הגבוה ביותר.³⁸ במחקר עדכני יותר שנעשה על ידי Kats et al, אשר בדק 150 בניינים ב-11 ארצות (כולל 33 מדינות שונות בתוך ארצות-הברית) נמצא, שעלות רוב הבניינים הירוקים נעה בין 1-2% יותר מבניינים קונבנציונליים דומים, ורק לעיתים רחוקות הגיעה העלות לתוספת של 4% או יותר.³⁹ הם מצאו גם שהבניינים הירוקים הפחיתו שימוש באנרגיה בממוצע של 33% ושהחסכון משימור אנרגיה הספיק כשלעצמו לכיסוי פרמיית עלות הבנייה. באמצעות מדגם גדול יותר של 300 בניינים, כולל 170 בניינים ירוקים מוסמכים מ-7 ארצות שונות, Kats (2010) מצא שפרמיית העלות עבור בניינים ירוקים הייתה פחות מ-2% בממוצע.⁴⁰

במחקר אחר אשר התרכז בעלויות בניית בתי ספר ירוקים, מצא Turner Green Buildings פרמיית עלות הנעות בין 0.8% עבור מוסמך LEED ברמה בסיסית לבין 11.5% עבור LEED Platinum.⁴¹ אולם, מחקר שנערך על-ידי Kats הסוקר 20 בתי ספר ירוקים ברחבי ארצות-הברית מצא שעלות הבנייה של בתי ספר ירוקים הייתה גבוהה ב-2% (או פחות) מזו של בתי ספר קונבנציונליים דומים.⁴² מחקר שעסק בעלויות של בניית בנקים ירוקים שערכו Mapp et al מצא שהסמכת LEED הוסיפה בין 2%-3% לעלויות הבנייה ופחות מ-2% לסך עלויות הפרויקט.⁴³

³⁵ למשל, Kats 2003, Matthiessen & Morris 2007, Issa et al 2010.
³⁶ World Business Council on Sustainable Development 2007. נתון ה-17% הינו ממוצע. בהודו למשל העריכו שבנייה ירוקה תהיה יקרה יותר ב-11% לעומת בנייה קונבנציונלית, ובסין ההערכות הגיעו עד ל-28%.
³⁷ Hoffman and Henn 2008.
³⁸ Kats et al 2003.
³⁹ Kats et al 2008.
⁴⁰ Kats 2010.
⁴¹ Turner Green Buildings 2005.
⁴² Kats 2006.
⁴³ Mapp et al 2011.

מחקרים אמפיריים אחרים הציגו ממצאים דומים. Kilbert דיווח שלבנינים ירוקים יש "הון או עלות בנייה גבוהה יותר מבנינים קונבנציונליים, בסדר גודל של 2%, או 2-5 \$ לרגל מרובע" (עמוד 327).⁴⁴ Steven Winters Associates דיווחו שניתן להשיג דירוג "LEED silver" עבור בנינים ירוקים בתוספת עלות של פחות מ 2.5%.⁴⁵ בנוסף, הראה הדו"ח שעלויות בניית בניין ירוק חדש נעו בין 0.4% פחות מבנייה קונבנציונלית עד ל-8.1% יותר מבנייה קונבנציונלית, ושעלויות שיפוץ מאסיבי להשגת אחד מדירוגי LEED, נעו בין פרמיות של 1.4% ל 7.8%. רמות גבוהות יותר של הסמכה נכרכו בעלויות גבוהות יותר.

מחקרים שבוצעו על-ידי חברת Davis Langdon מצאו ש"אין שוני משמעותי בממוצע עלויות של בנינים ירוקים בהשוואה לבנינים לא ירוקים. צוותי פרויקט רבים בונים בנינים ירוקים בעלות נמוכה או ללא תוספת עלות ועם תקציבים שהם לגמרי בתוך טווח העלות של בנינים לא ירוקים בתכנון דומות".⁴⁶ מסקנה זו מבוססת על מחקרים שהקיפו 221 בנייני ציבור חדשים בעלי יעוד שונה (אקדמיה, ספריות, מעבדות וכו'). מחקרים אלו השוו בין בנינים ירוקים בעלי הסמכת LEED לבין בנינים קונבנציונליים בארצות הברית. המסקנה הנ"ל מאשרת תוצאות דומות שנמצאו במחקרים קודמים של החברה.⁴⁷ החוקרים למשל מצאו שעלויות בניית בנינים קונבנציונליים יש טווח רחב התואם את איכות ורמת הבנייה, ושעלויות הבנייה של בנינים ירוקים נמצאות אף הן בטווח זה.

מחקר משנת 2009 שבדק עלות בנייה של בנייני מסחר בעיר ניו יורק, מצא שהעלות הממוצעת של בנינים מוסמכי LEED הייתה נמוכה ב- 6% לרגל מרובע מעלות בניית בנייני מסחר קונבנציונליים.⁴⁸ בנוסף, המחקר מצא שהעלות החיצונית של בנינים מוסמכי LEED הייתה נמוכה ב- 3% לרגל מרובע מעלות בניית בנייני מסחר קונבנציונליים. תוצאות כאלו מאשרות עדויות לפיהן בניית בניין ירוק יכולה להיות זולה יותר מבניית בניין קונבנציונלי. כך למשל מדווח Lockwood שרשת בנקים בארצות-הברית מצאה שהיא חסכה \$80,000 בעלויות בנייה של כל סניף קמעונאי על-ידי בנייה לפי סטנדרטים של LEED.⁴⁹

מספר מחקרים שצוטטו לעיל מצאו שרמה גבוהה יותר של הסמכה מקושרת לרמה גבוהה יותר של עלויות בנייה ראשוניות.⁵⁰ מחקר אחד מצא, באמצעות הדמיות בנייה של בנינים ברמות הסמכה שונות, שהסמכת LEED בסיסית כרוכה בתוספת עלות של 0.9%, בזמן ש- LEED Platinum תייקר עלויות בשיעור של 21%. אותו מחקר מצא שהשגת סטאטוס של "בניין חי" ("Living Building") המוגדר כבניין שעל תוחלת חייו אין כל העמסות סביבתיות נטו- יעלה 29% יותר מבניין

⁴⁴ Kilbert 2007

⁴⁵ Steven Winters Associates 2004

⁴⁶ Davis Langdon 2007a ע"מ 3

⁴⁷ Davis Langdon 2004; 2007a

⁴⁸ Urban Green Council and Davis Langdon 2009

⁴⁹ Lockwood 2007

⁵⁰ למשל: Kats et al 2003; Steven Winters Associates 2004; Turner Green Buildings 2005; Davis Langdon 2007b, Yudelson 2007

קונבנציונלי.⁵¹ מחקר אחר מצא שהסמכת LEED בסיסית כרוכה בתוספת של 0.6% לעלויות הבנייה לעומת בנייה קונבנציונלית, הסמכת LEED Silver כרוכה בתוספת של 1.9%, הסמכת LEED Gold כרוכה בתוספת של 2.2% והסמכת LEED Platinum כרוכה בתוספת של 6.8%.⁵² סקר אחר מצא שממוצע עלויות בנייה של בניינים בהסמכת LEED בסיסית היו גבוהות ב-3% מעלות בניית בניינים קונבנציונליים, והסמכת LEED Silver הייתה גבוהה ב-5.5%.⁵³ מחקרים אחרים לעומת זאת, לא זיהו הבדל בעלויות הבנייה הנובע מרמת הסמכה, ואף הצביעו שלעיתים קרובות, רמות גבוהות יותר של הסמכה הושגו בעלויות נמוכות מאלו שנדרשו להשגת רמות נמוכות של הסמכה.⁵⁴

התקנים של בניינים ירוקים אינם בהכרח זהים, ולכן הבדלים בין תקנים (ולא רק הבדלים בין רמות הסמכה שונות של אותו תקן) עשויים גם הם להסביר הבדלים הקיימים בין העלויות של בנייה ירוקה לעומת בנייה קונבנציונלית. מחקר אחד מצא שהסמכת LEED לא הביאה בהכרח לעלייה בעלות הבנייה בניו יורק.⁵⁵ במחקר דומה באוסטרליה, לא נמצאה תוספת עלות בנייה עבור דירוג "4 כוכבים" לפי תקן Green Star, אך נמצאה עלייה של 3-5% עבור השגת דירוג "5 כוכבים", ועלייה של 9-11% עבור השגת דירוג "6 כוכבים".⁵⁶ ההבדלים בתוצאות מחקרים אלו עשויים בנוסף לנבוע גם מהבדלי מיקום גיאוגרפי של המבנה הנחקר, לרבות הבדלים אקלימיים וכן משתנים של השוק המקומי ותמריצי מדיניות מקומית. Davis Langdon מצא שהסמכת LEED Gold תייקר את הבנייה ב-2.7% בהשוואה לבנייה קונבנציונלית בסן פרנסיסקו או בסנטה ברברה במדינת קליפורניה, אך תייקר אותה ב 6.3% ביוסטון טקסס.⁵⁷

לסיכום, בנייה לפי תקן ירוק אינה בהכרח יקרה יותר מבנייה קונבנציונלית, במיוחד כאשר מדובר על השגת הדירוגים הנמוכים יותר של ההסמכה, ולרוב מדובר על תוספת עלות של אחוזים בודדים. המחקרים מצביעים על כך שההפרשים בין עלויות הם פונקציה של רמת הדירוג, מיקום גיאוגרפי, ויעוד המבנה. כמין-כן, חשוב לציין שתוצאות מחקרים יכולות להשתנות על בסיס המתודולוגיה בה נעשתה ההערכה והשוואת העלויות (דיון על מתודולוגיות שונות בהן נעשה שימוש עבור הערכות כלכליות לבנייה ירוקה, ביחד עם תיאור היתרונות והחסרונות היחסיים שלהן מוצג בפרק הבא).

⁵¹ David and Lucille Packard Foundation 2002

⁵² Kats, 2007, cited in Miller et al 2008

⁵³ Miller et al 2008

⁵⁴ למשל: Davis Langdon 2007a

⁵⁵ Urban Green Council and Davis Langdon. 2009

⁵⁶ Davis Langdon 2007a

⁵⁷ Davis Langdon 2004

סיכום השוואתי של מחקרים רלוונטיים ניתן בטבלה להלן:

מחברים ושנה	מיקום גיאוגרפי	סוג תקן ויעוד המבנה	תוספת עלות ממוצעת לתקן ירוק	תוספת עלות לתקן ירוק בדירוג גבוה (כגון LEED silver ומעלה או המקבילים אליהם)
Kats et al 2003	קליפורניה, ארה"ב	LEED	1.84%	1.82-6.5%
Steven Winters Associates 2004	ארה"ב	LEED silver	2.5%	2.5%
Turner Green Buildings 2005	ארה"ב	בתי ספר LEED	0.8%	3.5%
Kats 2006	ארה"ב	בתי ספר LEED	2%	
Packard Foundation 2002	ארה"ב	LEED	0.9%	
Packard Foundation 2006	ארה"ב	Living Building		29%
Davis Langdon 2007	ארה"ב	LEED	ללא תוספת	
Davis Langdon 2007	אוסטרליה	Green Star	ללא תוספת	3-11%
Kats 2007	ארה"ב	LEED	0.6%	
Kilbert 2007	ארה"ב	LEED	2%	
Kats et al 2008	גלובלי	LEED	1-2%	1.51%
Miller 2008	ארה"ב	LEED	3%	1-10.3%
Urban Green Council and Davis Langdon 2009	ניו יורק, ארה"ב	בנייני מגורים גבוהים LEED	1%	
Mapp et al 2011	ארה"ב	בנקים LEED	2-3%	

טבלה 1-2. סיכום מחקרים אמפיריים השוואתיים בנושא תוספת עלות של בנייה ירוקה

הערה: אחוזי תוספת עלויות מבטאים את הממוצע, במידה ודווח במחקר. במידה ולא ניתן דיווח ממוצע, הם מבטאים את העלות לקבלת רמת ההסמכה הבסיסית. ניתן לראות שתוספת העלות מושפעת בין השאר מרמת ההסמכה.

באם אכן קיימת תוספת עלות לבנייה ירוקה, נשאלת השאלה האם הבניין מחזיר את תוספת זו. בכדי לענות על שאלה זו יש לבדוק עלויות תפעול ותחזוקה – נושא הנידון בסעיף הבא.

ג. עלויות תפעול ותחזוקה

במרבית המקרים החסכונות הצפויים במונחים של צריכת אנרגיה, מים והוצאות תפעול ותחזוקה אחרות, הם התמריץ הראשי והחשוב ביותר לנכונות של הצרכן לשלם מחיר גבוה יותר עבור בנייה ירוקה. באמצעות חסכונות אלו שואף הדייר להחזיר את ההשקעה הראשונית בדירה. קיימת ספרות מקיפה בנוגע לפוטנציאל החיסכון של השקעות אלו. להלן תוצג במסגרת זו סקירה קצרה של כמה מהמחקרים החשובים בנושא. סקירות מעמיקות נוספות ניתן למצוא במחקרים אחרים.⁵⁸ בנוסף, קיימים מחשבוני רבים להערכת חיסכון בעלויות בכלל, ומשימור אנרגיה בפרט.

⁵⁸ למשל: Carliner et al 2008; Miller 2010; Brounen and Kok 2011; Bloom et al 2011

כמה מהמחקרים המוקדמים יותר, מצאו ששווי הבניין עלה בין \$11 ל \$20 לכל \$1 מושקע, לצורך חיסכון באנרגיה.⁵⁹ כמו-כן, בדוחות שהכינה הסוכנות האמריקאית להגנת הסביבה (US EPA), תועד שחסכונות באנרגיה מביאים לחסכונות כספיים אשר יותר ממפצים על עלייה בתשלומי המשכנתאות הנדרשים.⁶⁰ במחקרם Brown et al חישובו שהתייעלות אנרגטית בבניינים בארצות-הברית יכולה בקלות להוריד שליש מצריכת החשמל ושליש מצריכת הגז הטבעי, והייתה מחזירה את ההשקעה שנעשתה תוך שנתיים וחצי.⁶¹

במחקר של Kats et al שצוין לעיל, מצאו החוקרים שהשקעה של 2% בעלויות בנייה הביאה לחיסכון של- 20% בעלויות לטווח ארוך.⁶² במחקר חדש יותר הם מצאו שהבניינים הירוקים הפחיתו שימוש באנרגיה בממוצע של 33% ושהחיסכון משימור אנרגיה הספיק כשלעצמו לכיסוי פרמיית עלות הבנייה.⁶³ במחקר אחר של Kats et al נמצא שחיסכון באנרגיה לבדו יספק החזר על ההשקעה בתוך שש שנים (ואפילו מהר יותר אם מחירי אנרגיה ימשיכו לעלות), וכן שבמהלך 20 שנים ההחזר הכלכלי יהיה פי 4 עד פי 6 גבוה יותר מפרמיית העלות הראשונית.⁶⁴ בסקר של בנייני משרדים ובתי ספר בארצות-הברית, נמצא שבעבור שני הייעודים השונים של המבנים, ערך החסכונות בהוצאות הקשורות בשימוש באנרגיה לאחר 20 שנה, היה יותר מכפול מהערך של ההשקעות הראשונות, במושגים של ערך נוכחי נקי.⁶⁵ ככל שרמת התקן עולה כך עולה גם הצפי לחסכון. חסכונות כספיים מבניינים בעלי תקן LEED Platinum היו פי שניים מאלה בבניינים בעלי תקן LEED בסיסי. לפי המחקר של Kats et al 2008 50% מהבניינים הירוקים מחזירים את ההשקעה דרך חסכון באנרגיה ומים תוך חמש שנים. אם מחשבים גם את התועלת משיפורים בבריאות ופרודוקטיביות של עובדים נמצא כי 90% מהבניינים מחזירים את ההשקעה תוך חמש שנים. יש לזכור שבנוסף לתועלות המיידיות שיש למשתמשי הנכס, גם לחברה כולה יש תועלות כלכליות מהתייעלות אנרגטית (צמצום עלויות חיצוניות), שהיא גדולה לאין שיעור מזו של המשתמשים בנכס. אחד מביטוייה הם ירידה בזיהום אוויר, אך תועלת זו אינה נלקחת בחשבון בחישובים אלו.

ברוב המחקרים נמצא שהוצאות תפעוליות של בנייה ירוקה הן נמוכות משמעותית מאלה של בנייה קונבנציונלית, אך יש מחקרים שמדווחים ההיפך; Miller et al, מצאו אמנם שהוצאותיהם של בניינים ירוקים על צריכת חשמל ומים היו נמוכות משמעותית בהשוואה לבנייה קונבנציונלית, אך סך כל ההוצאות התפעוליות היו גבוהות במקצת.⁶⁶ מכאן שבניינים ירוקים עשויים לחסוך עלויות הקשורות לצריכת אנרגיה ומים, אך ההוצאות הנדרשות לתחזוקה ולתפעול מערכות בבניינים ירוקים, שהן לעיתים מורכבות יותר ממערכות קונבנציונליות, עשויות להיות גבוהות יותר בהשוואה לבניינים קונבנציונליים.

⁵⁹ למשל: Dinan and Miranowski 1989; Horowitz 1990; Nevin and Watson 1998

⁶⁰ Brounen and Kok 2011

⁶¹ Brown et al 2008

⁶² Kats et al 2003

⁶³ Kats et al 2008

⁶⁴ Kats 2006

⁶⁵ Kats et al 2008

⁶⁶ Miller et al 2010

כאמור, רוב המחקרים מראים שהחיסכון הכספי מבחינת צריכת משאבים, ובמיוחד אנרגיה, מצדיק את העלויות הנוספות של הבנייה הירוקה. אך יש להיזהר ממסקנות גורפות ולזכור שהכדאיות הכלכלית של תפעול ותחזוקת בניינים ירוקים היא פונקציה של מספר גורמים שאינם תלויים בתכונות הפיזיות של הבניינים עצמם. גורמים אלה כוללים למשל:

- (א) מחירי מוצרים ושירותים כמו חשמל, גז, מים, ואיסוף פסולת.
- (ב) תמריצים ממשלתיים הן ברמה לאומית והן ברמה מקומית.
- (ג) התנהגות הדיירים.

אם כן, קיימת שונות גדולה בין מחירי חשמל ומים ממקום למקום, אשר נובעת ממשתנים כגון סוגי דלק, מרחק ממקורות אנרגיה ומים, תנאי אקלים, תנאים גיאופוליטיים ומיסוי ממשלתי. בנוסף, מחקרים רבים מראים שיש גם שונות גדולה בהתנהגות של דיירים אשר משפיעה על רמת ההתייעלות בפועל של בניינים ירוקים.⁶⁷ לכן, למרות שתועלת כלכלית מתפעול ותחזוקה של בניינים ירוקים הינה משמעותית, במיוחד מבחינת הוצאות על צריכת אנרגיה, קיים קושי להסיק מסקנות לגבי רמת הכדאיות הכלכלית עבור מקום מסוים ממחקר שנערך במקום אחר.

ד. מחירי מכירות, השכרות ותעריפי דיור

כפי שהוזכר לעיל, צפוי שמחיר השוק של נדל"ן שהוסמך לפי תקן לבנייה ירוקה ישקף את הערך הנוכחי הנקי (NPV) של ערך הנכס בטווח הארוך לרבות עלויות התפעול והתחזוקה. במידה ועלויות בנייה ירוקה הינן אכן גבוהות יותר ביחס לעלויות בנייה קונבנציונלית, יזמים ישקיעו בבנייה ירוקה רק במידה ויוכלו לגבות עבורה מחירים גבוהים יותר בכדי להחזיר את השקעתם ואף להרוויח עליה. במידה ואכן קיים חסכון בטווח הארוך לבעלי בניינים ירוקים, יש לצפות שהקונים יהיו מוכנים לשלם מחיר גבוה יותר בעבור בניין ירוק לעומת בניין קונבנציונלי.

לפי Fuerst and McAllistor, "הרבה מהמחקר על אפקט התמחור של מאפיינים בני קיימא בנכסים מסחריים היה נורמטיבי (ניתוח של מה צריכה להיות השפעת המחיר) יותר מאשר פוזיטיבי (ניתוח של מה הייתה השפעת המחיר בפועל)".⁶⁸ כלומר, עד כה מחקרים רבים התמקדו דווקא בכימות ההשפעות הצפויות על מחירים של מאפיינים בני קיימא בנכסים מסחריים, ולא במדידת ההשפעות על המחיר בפועל.⁶⁹ להלן יוצגו תוצאות אמפיריות בלבד.

עד כה, מספר מצומצם של מחקרים חקרו את ההבדלים במחירי המכירה וההשכרה של בניינים ירוקים לעומת קונבנציונליים. Eichholtz et al מצאו שמחירי המכירה של בניינים ירוקים היו גבוהים ב- 16% מאלו של בניינים דומים, ושבניינים עם "דירוג ירוק" מכתבים דמי שכירות הגבוהים ב- 3-6% לרגל-מרובע, מאשר בניינים זרים - בהתאם לאיכות הבנייה ולמיקום המסוים של בנייני

⁶⁷ Deuble and de Dear 2012

⁶⁸ Fuerst and McAllistor 2011 ע"מ 50

⁶⁹ ראו, למשל, את Ellison, Sayce and Smith 2007

משרדים.⁷⁰ Fuerst and McAllistor מצאו שפרמיית מחיר המכירה היתה כ- 10% עבור הסמכת Energy Star וכ- 31% עבור בניינים מוסמכי LEED, ושפרמיית ההשכרה היתה כ- 6% ו- 9% בהתאמה.⁷¹ נקודה חשובה נוספת היא שלבניינים ירוקים יש שיעורי תפוסה גבוהים יותר מאשר לבניינים קונבנציונליים המאפשרים רווח מהיר יותר בגין דמי השכירות ביחס למתחרים.⁷²

Miller et al מצאו שביחס לבניין קונבנציונלי, מחירי המכירה של בניין מוסמך LEED היו גבוהים יותר ב- 9.94%, בעוד שמחיר המכירה של בניין מוסמך לפי תקן Energy Star היה גבוה יותר ב- 5.76%.⁷³ הפרמיה (ההבדל בין מחיר בניין ירוק לבניין קונבנציונלי) השתנתה על פי מיקום גיאוגרפי כאשר לא בכל האזורים נמצאה פרמיית מחיר. עם זאת, הם שמו לב שבערים שבהן לא הייתה פרמיית מכירה או השכרה, לבניינים ירוקים מוסמכים הייתה היענות תפוסה מהירה יותר, משמע שהיזמים החזירו עלויות על-ידי כך שיחידות נותרו ריקות לפרק זמן קצר יותר בהשוואה לבניינים קונבנציונליים. מחקר זה מצא גם ששיעורי התפוסה היו גבוהים ב- 2-4% בבניינים מוסמכי LEED, לעומת כאלו ללא הסמכת LEED. אולם, מחקר מעקב שנערך על-ידי אחד המחקרים,⁷⁴ המתבסס על מדגם קטן של בניינים, מצא שייתכן והתועלות במונחים של דמי השכרה ושיעורי תפוסה התמוססו במהלך המשבר הכלכלי דאז.

בעוד שמרבית החומרים שפורסמו בנוגע לתועלות של הסמכת בנייה ירוקה, התבססו על ניסיון אמריקאי עם אמות מידה של הסמכה ל- LEED, קיים מספר מצומצם של מחקרים מחוץ לארצות-הברית. Brounen and Kok מצאו שבניינים ירוקים מוסמכים בהולנד, נמכרו במחירים גבוהים ב- 3.6% מכאלה שלא הוסמכו.⁷⁵ Addae-Dapaah and Chieh מצאו שבתים בסינגפור עם ההסמכה הירוקה המקומית (Green Mark) בדירוג זהב היו עם פרמיית מחיר של 9.6%, בזמן שבניינים עם הסמכת פלטינום היו עם פרמיה של 27.7%, וזאת על-אף מודעות נמוכה יחסית בנוגע לאמות מידה של בנייה ירוקה ולהבדלים בין רמות הסמכה שונות.⁷⁶

לסיכום, הציבור – או חלקים ממנו – מוכן לשלם פרמיה עבור בניינים בעלי תקן ירוק. נכונות זו מתבטאת הן במחיר מכירה והן בדמי השכרה. הפרמיות נובעות מצורך היזמים לכסות את עלויות הבנייה הנלוות שלהם בגין בנייה ירוקה. ייתכן שנכונות הרוכשים והשוכרים של נכס ירוק לשלם את הפרמיה נובעת מהצפי להחזר השקעה על-ידי תשלום מופחת עבור תפעול ותחזוקה. מניעים אפשריים נוספים לתשלום פרמיות כוללים בין היתר צפי לגבי ירידה בתחלואה או לגבי שיפורים בפרודוקטיביות של עובדים, אכפתיות לגבי השפעות סביבתיות ועוד. כפי שצוין קודם, עלויות סביבתיות לרוב אינן מגלומות במחירי הנכס (בהיותן לרוב חיצוניות), אך עקרונות סביבתיים יכולים להיות מרכיב חשוב אצל הצרכן. חשיבות עקרונות סביבתיים יכולה להיות משמעותית אף יותר בקרב

⁷⁰ Eichholtz et al 2009
⁷¹ Fuerst and McAllistor 2011
⁷² Fuerst and McAllistor 2009
⁷³ Miller et al 2008
⁷⁴ Miller 2010
⁷⁵ Brounen and Kok 2011
⁷⁶ Addae-Dapaah and Chieh 2011

עסקים, אשר מציגים מוניטין סביבתי ו/או חברתי, ורואים בבנייה ירוקה אמצעי להצהיר על מאמציהם למזעור טביעת הרגל הסביבתית שלהם ולמיתוג ירוק.

ה. עלויות ותועלות של בנייה ירוקה בישראל

בישראל קיים מחסור בנתונים לגבי עלויות של בנייה ירוקה, ומכאן הצורך במחקר זה. באחת מהעבודות היחידות שנעשו עד כה – דו"ח שנכתב על-ידי התאחדות בוני הארץ מ-2012 – מוערכת תוספת העלות של בנייה ירוקה לפי התקן הישראלי בהשוואה לבנייה קונבנציונלית ב- 5.1% עבור דירוג של כוכב אחד ועד 16.5% עבור דירוג של שלושה כוכבים.⁷⁷ משמעות הדבר היא תוספת של 1.7% עד 5.4% במחירי הדירות (טבלה 2-2). תוספת העלות נחלקת בין רכיבים שונים (חשמל, מים, פסולת, תחבורה, וכו') כאשר רכיבים הקשורים לחסכון בצריכת אנרגיה מהווים כ-14% מסך העלויות להשגת דרגת כוכב אחד, וקרוב ל- 50% מהעלויות להשגת דרגת שני כוכבים ו-60% מהעלויות להשגת דרגת שלושה כוכבים. רוב הקריטריונים הנותרים דורשים השקעה ראשונית להשגת כוכב אחד, אך התוספת הנדרשת להשגת כוכבים נוספים אינה משמעותית.

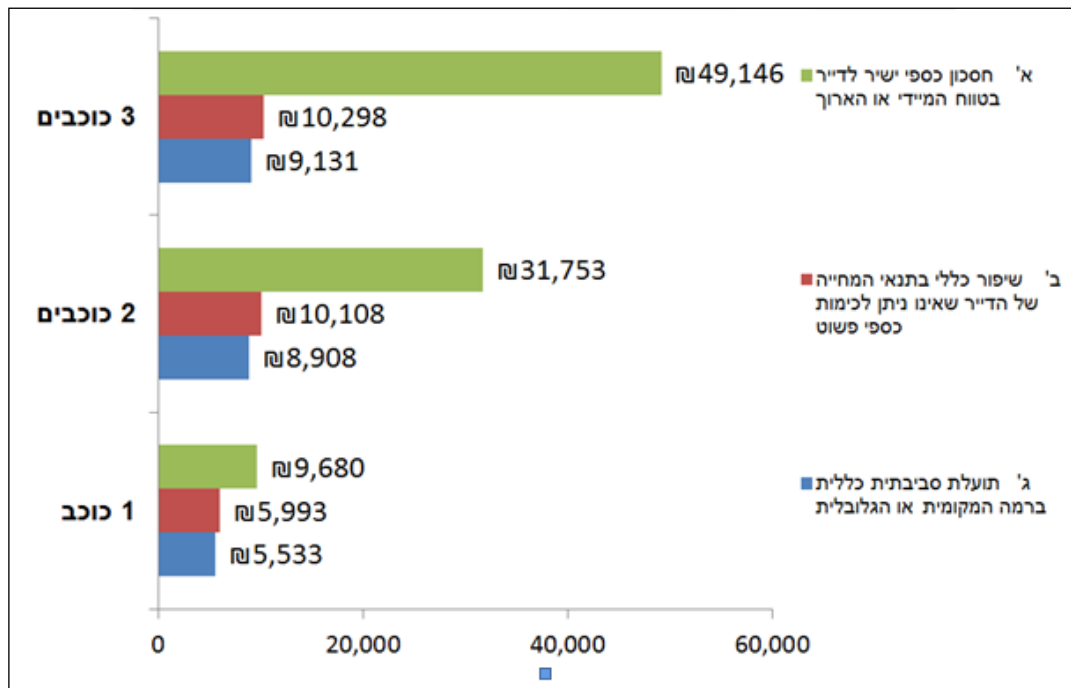
בדו"ח זה מחולקות עלויות הבנייה הירוקה לפי סוגי התועלת שהן מייצרות. לפיכך, לבניין בעל דרגת כוכב אחד, בערך חצי מהעלות מביאה לתועלת כספית ישירה לדיירים, ואילו החצי השני מחולק כמעט שווה בין "שיפור תנאי מחייה לדייר שאינו ניתן לכימות כספי פשוט" ותועלת סביבתית ברמה מקומית או גלובלית. ככל שעולים בדרגת כוכבים, אחוז התועלת הישירה לדיירים נהיה משמעותי יותר, כך שבבניין דרגת שלושה כוכבים כ- 72% מהתועלת היא ישירה לדיירים, ושאר התועלת שוב מחולקת כמעט שווה בין שני הסוגים האחרים (איור 2-2).

שיטות ההערכה של דו"ח זה אינן מפורטות ולכן קשה לאמת או להפריך את הממצאים. הסכומים בדו"ח דומים להערכות שנשמעו בעל פה מיזמים שונים במסגרת המחקר הנוכחי, אך אי אפשר לדעת על סמך מה הם מבוססים: האם על הערכות צפויות או על הוצאות בפועל, ואם הביסוס הינו לפי הוצאות בפועל, אז מהו המדגם עליו התבססו. לאור ממצאים אלו יבדוק מחקר זה עלויות בפועל של מקרי מבחן.

כוכבים בתקן ⁷⁸	תוספת עלות מתומחרת (בש"ח לדירה)	שיעור תוספת העלות מסך עלויות בניית דירה טיפוסית	שיעור תוספת העלות ממחיר דירה טיפוסית
1 כוכב	21,206	5.1%	1.7%
2 כוכבים	50,769	12.2%	4.0%
3 כוכבים	68,575	16.5%	5.4%

טבלה 2-2. הערכת עלויות לבנייה ירוקה בישראל. מקור: לזר זיו ונתן חילו 2012 (התאחדות בוני הארץ), ע"מ 1

⁷⁷ לזר זיו וחילו נתן 2012, כיצד קובעים מהי בנייה ירוקה וכמה זה עולה?, התאחדות בוני הארץ. דירוג הכוכבים מתייחס לתקן 5281 מגרסת 2011
⁷⁸ דירוג הכוכבים מתייחס לתקן 5281 מגרסת 2011



איור 2-2. התפלגות תועלת עלויות בנייה ירוקה לפי סוגי תועלת. מקור: לזר זיו ונתן חילו 2012 (התאחדות בוני הארץ) ע"מ 11

3. שיטות מחקר

א. מתודולוגיות למדידת עלויות של בנייה ירוקה

לצורך הערכת עלויות של בניינים ירוקים ביחס לאלו של בניינים קונבנציונליים קיימות בספרות מספר מתודולוגיות שונות. הגישה המתודולוגית הראשונה מתבססת על תכנון של בניינים תיאורטיים אשר מתוכננים לפי תקני בנייה ירוקה כך שיקבלו הסמכה לבניינים ירוקים בדרגות הסמכה שונות. לעומתם מתוכננים בניינים קונבנציונליים הזוהים להם בכל פרט לרכיבי הבנייה הירוקה. מהתכנונים הללו מחושבות העלויות הצפויות לבניינים הירוקים ולקונבנציונליים, ומתבצעת השוואה בין העלויות הצפויות. המחקר שנעשה על-ידי Steven Winters Associates השתמש במתודולוגיה מסוג זה,⁷⁹ כפי שהיו גם כמה מניתוחיו של Davis Langdon.⁸⁰ היתרון העיקרי של גישה זו, הינו שהיא מבטיחה שהמבנים שעומדים להשוואה הם בעלי תכנון זהה ומחזיקים באופן קבוע את כל שאר המשתנים, למעט התוספות של בנייה ירוקה. החיסרון העיקרי בגישה זו, הינו שהיא מסתמכת רק על הערכות ואינה משתמשת בעלויות בנייה בפועל, אשר לעיתים קרובות שונות מהערכות טרום-בנייה. נושא זה בעייתי במיוחד לעניין בנייה ירוקה, כיוון שכפי שהוצג לעיל, קיימות תפיסות שונות לגבי העלויות של בנייה ירוקה אפילו בקרב בעלי הניסיון בתחום.

הגישה המתודולוגית השנייה, משתמשת בעלויות בפועל של בניינים ירוקים ומשווה אותם לעלויות בפועל של מבנים קונבנציונליים דומים באותם אזורים או באזורים דומים. עלויות אלה לעיתים קרובות מנורמלות על פי יחידת מידה (מטר-מרובע או רגל-מרובע) ועל פי שנת בנייה, על מנת לאפשר השוואה. בדרך כלל, מספק המחקר טווח של עלויות לכל אזור עבור פרויקטים של בנייה ירוקה ובנייה קונבנציונלית, ובכך מאפשר לבחון את עלות הפרויקט הירוק ביחס לעלות פרויקטים קונבנציונליים דומים. מחקרים אחרים של Davis Langdon וכן של Mapp et al הם דוגמאות לשימוש בגישה זו, אשר יתרונה הוא השימוש בעלויות פרויקטים בפועל, הן עבור בנייה ירוקה והן עבור בנייה קונבנציונלית.⁸¹ החיסרון הוא בכך שהשיטה לא בהכרח מבדדת את משתנה ה"בנייה ירוקה" שכן קשה עד בלתי אפשרי למצוא בניין ירוק הזהה לבניין קונבנציונלי בכל מאפייניו (למשל גודל חדרים, מפתחי חלונות, כיווני אוויר, מרפסות ועוד) פרט לרכיבי הבנייה הירוקה, אשר את עלותם המחקר מבקש לבדד. בנוסף, שיטה זו נדרשת לנתונים לגבי עלויות עבור מספר גבוה יחסית של בניינים.

מחקרם של Kats et al עושה שימוש במתודולוגיה שלישית המשלבת מעט משתי הגישות הנ"ל.⁸² הם משתמשים בעלויות בנייה בפועל עבור בניינים ירוקים ומשווים אותן להערכת עלויות של אותם בניינים ללא התוספות הירוקות. גישה זו מבטיחה השוואה "בין תפוחים לתפוחים" על-ידי בידוד משתני ה"בנייה הירוקה", אך תוך הסתמכות על הערכות של קבוצת ההשוואה (קרי הבניינים

⁷⁹ Steven Winters Associates 2004

⁸⁰ למשל, Davis Langdon 2004

⁸¹ Davis Langdon 2004; Mapp et al 2011

⁸² Kats et al 2003

הקונבנציונליים) בלבד. הסיכון שבהסתמכות על הערכות עלות של בניינים קונבנציונליים בלבד, נמוך מהסיכון שבהסתמכות על הערכות עבור בניינים ירוקים וקונבנציונליים גם יחד, שכן לאדריכלים, מהנדסים ושמאים, יש ניסיון מצטבר רב ובסיס נתונים טוב יותר לחישוב עלויות של בנייה קונבנציונלית. כפי שיפורט להלן זוהי המתודולוגיה שנבחרה למחקר הנוכחי.

הגישה המתודולוגית הרביעית והאחרונה הנדונה כאן, הינה מחקרים סטטיסטיים בעלי מדגמים גדולים. מחקרים אלו מבוססים על ניתוח באמצעות רגרסיות של עלויות בפועל של פרויקטים רבים של בנייה (מחירי מכירות או השכרות וכדומה). המחקרים כוללים משתני בקרה רבים, על מנת להסביר הבדלים בעלויות הנובעים מגורמים כגון מיקום, גודל, גיל, סוג הבניין וכו'. דיוק התוצאות היא פונקציה של בידוד משתני הבקרה המבליטים את תרומתה של הבנייה הירוקה לערך של הנכס.⁸³ המגבלה העיקרית ליישום מחקרים מסוג זה היא המספר הרב של ניתוחי עלויות מפורטים הנדרש להשגת רמה טובה של מובהקות סטטיסטית. מחקרים של Fuerst and McAllistor למשל, התבססו על מדגם שכלל 197 בניינים מוסמכי LEED, 834 בניינים מוסמכים לפי תקן Energy Star ויותר מ 15,000 בניינים לא מוסמכים המשמשים כקבוצת ביקורת.⁸⁴

סיכום של ארבע שיטות המחקר להשוואת עלויות ותועלות בין בנייה ירוקה לקונבנציונלית, מוצג בטבלה להלן:

שיטה	יתרונות	חסרונות
1. השוואה תיאורטית	השוואה בין בניינים זהים	מבוססת על הערכות עלות בלבד של בנייה ירוקה וקונבנציונלית
2. השוואה בין בניינים דומים באותו אזור	מבוססת על עלויות אמיתיות	קשה לבודד את שאר המשתנים המסבירים שיכולים להשפיע על הבדלי עלויות
3. השוואה בין בניינים ירוקים והערכה של בניינים קונבנציונליים	עלות בנייה ירוקה מבוססת על עלויות אמיתיות	עלות בנייה קונבנציונלית מבוססת על הערכה בלבד
4. רגרסיית רב משתנים	מבודדת משתנים מסבירים רבים מבוססת על מדגם גדול	דורש מדגם גדול

טבלה 1-3. שיטות להשוואת עלויות ותועלות של בנייה ירוקה ובנייה קונבנציונלית

⁸³ דוגמאות של מחקרים שהשתמשו בשיטה זו כוללות: Davis Langdon 2007a, Fuerst and McAllistor 2009, 2011, Eichholtz et al 2009 ו-Brounen and Kok 2011.
⁸⁴ Fuerst and McAllistor 2011

ב. מתודולוגיית ושלבי המחקר הנוכחי

המתודולוגיה שנבחרה במחקר הנוכחי לצורך בחינת העלויות של בנייה ירוקה והשוואתן לעלויות של בנייה קונבנציונלית, הינה בחינת העלויות בפועל של רכיבים ירוקים אשר הוטמעו במקרה המבחן המסוים (ושונים בעלותם מרכיבים בבנייה קונבנציונלית),⁸⁵ והשוואתן להערכת עלויות בבניין קונבנציונלי (מתודולוגיה מספר 3 בטבלה 3-1). יתרונותיה של מתודולוגיה זו אשר בזכותם נמצאה כמתאימה ביותר למחקר הנוכחי הינם:

1. הסתמכות על עלויות בפועל של רכיבים ירוקים הינה מדויקת יותר בהשוואה להסתמכות על הערכת עלויות של רכיבים אלו.
2. הסתמכות על הערכת עלויות רכיבים בבנייה קונבנציונלית הינה מדויקת יחסית לאור הניסיון הרב שיש ליזמים ולקבלנים בבנייה זו.
3. אין צורך בבסיס נתונים רחב אודות בניינים ירוקים רבים, בסיס אשר אינו קיים עדיין בישראל כיוון שבארץ הוסמכו עד היום מספר מועט של מבנים.
4. ההגדרה מהו רכיב בנייה ירוק אינה חד-משמעית והיא נתונה לעתים לפרשנותו של החוקר. במחקר זה הגדרת הרכיבים הירוקים מובאת בצורה גלויה והיא מתבססת על רכיבים שהוגדרו כירוקים בתקן הישראלי לבנייה ירוקה.

יש להדגיש שהבניין הקונבנציונלי המשמש להשוואה הינו בניין העומד בדרישות החוק והתקנות השונות הנוגעות לבנייני מגורים בישראל (למשל תקן 1045 - בידוד תרמי של בניינים). אי לכך ייתכן שבפועל הבניין הקונבנציונלי במחקר זה יקר יותר מבנייני מגורים הנבנים בישראל בפועל, במקרה שהם אינם עומדים בכל דרישות החוק.⁸⁶

המחקר בוצע בשלושה שלבים:

שלב ראשון - זוהו הרכיבים בבניין הנבדק אשר נחשבים "ירוקים", וזאת עפ"י הסעיפים המפורטים בתקן 5281. עבור כל הרכיבים הללו נאספו מהיזמים הנתונים אודות עלותם בפועל. נתוני עלות אלו נבדקו ע"י יועץ חיצוני,⁸⁷ אנשי מקצוע שונים החברים במועצה הישראלית לבנייה ירוקה, ובמידת הצורך הושאו למחירי שוק של ספקים שונים מתחום הבנייה. שלב זה מהווה שלב עיקרי במחקר.

שלב שני - בוצעה השוואה בין העלות בפועל של הרכיבים הירוקים בבניינים הנבדקים, לבין הערכת עלות רכיבים דומים (במידה והיה צורך בכך) בבנייה קונבנציונלית.⁸⁸ חישוב זה נותן את עלות ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה בהשוואה לבניין ייחוס שנבנה בצורה קונבנציונלית עבור כל אחד מהרכיבים.

⁸⁵ בחישוב נלקחו בחשבון רק אותם רכיבים ירוקים אשר עלותם שונה מרכיבים בבנייה רגילה. כך למשל לא נלקח בחשבון הבטון של הרצפות, אשר משמש כמסה תרמית, היות ומדובר באותו בטון (עובי ועלות) אשר היה משמש בבניין רגיל.

⁸⁶ ראה הרחבה בנושא זה בסעיפי הבנייה הרלוונטיים כגון בידוד תרמי וקרינה בהמשך המחקר.

⁸⁷ מר משה בן חמו, מנכ"ל אלפא פריזמה - חברה לניהול פרויקטים בבנייה.

⁸⁸ הערכת העלויות בבנייה קונבנציונלית התקבלה מחברת אלפא פריזמה - חברה לניהול פרויקטים בבנייה.

שלב שלישי - בוצע ניתוח של הממצאים באופן פרטני ואח"כ בוצע ניתוח השוואתי בין שני מקרי המבחן.

ג. מגבלות המחקר

ישנם אספקטים שונים של בנייה ירוקה בבנייני מגורים בעלי משמעות כלכלית אשר לא הוכנסו לתחשיבים במחקר זה, ובכללם:

- תועלות כלכליות מבנייה ירוקה – חסכון ישיר לדיירים בצריכת אנרגיה ומים;
- הבדלים בתחלואה בקרב הדיירים - הודות לתאורה טבעית, אוורור טבעי מוגבר, שימוש בחומרים ידידותיים לאדם ועוד⁸⁹;
- הבדלים בעלויות סביבתיות חיצוניות כגון: זיהום אוויר, פסולת בניין, מיחזור חומרי בנייה, חסכון במים ועוד;
- הבדלים בקצב מכירה ואכלוס הבניינים;
- הבדלים במחירי הדירה לצרכן;
- הבדלים במתן אשראי על-ידי בנקים ומקורות מימון אחרים.

למשל, מראיונות עם היזם של בניין 304 עלה שדירות בבניין זה נמכרו מהר יותר מאשר דירות בבניינים דומים באותה שכונה שאינם בניינים ירוקים. כמו כן, קיים ערך כלכלי משמעותי בגין צמצום נזק סביבתי, אך עלויות אלו לרוב לא משפיעות על החלטות היזמים או הצרכנים, ולכן לא משפיעות על עלות הבנייה או הקנייה, כיוון שהן חיצוניות לבעלי עניין אלה. לגבי ירידה בתחלואה, אין בשלב זה מידע המעיד על הבדלים משום שהבניין אוכלס רק לאחרונה.

⁸⁹ במידה ומחקרי המשך יבחנו למשל בנייני משרדים או מוסדות חינוך ירוקים מומלץ לבדוק בנוסף גם שינויים בפרודוקטיביות בקרב העובדים והתלמידים

4. ניתוח עלויות של רכיבים ירוקים בבניין 304 והשוואתן לעלויות

של בניין ייחוס

א. הקדמה⁹⁰

בניין 304 נבנה כחלק מפרויקט בנייה חדש בנס ציונה- שכונת הארגמן. הבניין נבנה בקצה הצפון מערבי של השכונה, הוא מוקף בנייני מגורים מכל צדדיו וממוקם בקרבה לגן הלאומי "אירוס הארגמן" שהוכר כשטח טבע מוגן. הבניין נבנה על-ידי קבוצת חנן מור אשר שכרה את שירותיה של חברת ESD כיועצים לבנייה ירוקה בשלב טרום היתר הבנייה. שלב זה הינו מאוחר יחסית שכן השינויים שניתן להטמיע הינם מעטים. למרות זאת בוצעה עבודה מקיפה והוטמעו בבניין רכיבים ירוקים ככל שניתן. בנוסף, צוות יועצים רב תחומי סייע להתאים את הבניין לתקן 5281 על סעיפיו השונים.

הבניין מתנשא לגובה 28 מטר, יש בו 26 דירות ב-7 קומות ושני מפלסי חניה. תמהיל הדירות הינו:⁹¹
6 דירות בנות 4 חדרים בשטח של כ- 130 מ"ר לדירה
16 דירות בנות 5 חדרים בשטח של כ- 150 מ"ר לדירה
2 דירות מיני פנטהאוס בנות 5 חדרים בשטח של כ- 160 מ"ר לדירה
2 דירות פנטהאוס בנות 6 חדרים בשטח של כ- 200 מ"ר לדירה

הבניין נבנה במהלך 2010-2011, קיבל תו ירוק לפי תקן 5281 (גרסת 2005⁹²) וזכה לדירוג מצטיין על צבירת 77 נקודות עפ"י הפירוט הנ"ל:⁹³

פרק	סה"כ ניקוד מוענק
אנרגיה	20
קרקע	12
מים	13
נושאים סביבתיים אחרים	25.5
התרשמות מעריך	6.5
סה"כ ניקוד לבניין 304	77

טבלה 4-1. פירוט ניקוד בניין 304 לפי תקן 5281

⁹⁰ חלק זה מבוסס ברובו על דו"ח ההתאמה לתקן 5281 אשר הועבר ע"י חנן מור למכון התקנים: פרוסטינג הדס 2010, פרויקט הארגמן – בניין 304 דו"ח התאמה לת"י 5281, חברת יוזמות – תכנון וניהול סביבתי בע"מ
⁹¹ השטח המצוין הינו שטח ברוטו. לפירוט נוסף ראה ע"מ 17 בדו"ח התאמה לתקן 5281 של בניין 304
⁹² התקן עבר עדכון בספטמבר 2011
⁹³ ESD 2012, מצגת לוועדה המקצועית של מכון התקנים

ב. פירוט הרכיבים הירוקים בבניין 304 לפי תקן 5281, עלותם והשוואה

לעלות בבניין ייחוס

בפרק זה יפורטו הרכיבים הירוקים אשר ייושמו בבניין 304. עיקר הפירוט בוצע על-פי דוח ההתאמה לתקן 5281 אשר נכתב בינואר 2010, וחלקו מתבסס על ראיונות עם מנכ"ל קבוצת חנן מור, מר אבי מאור, ועל-פי מספר עדכונים מחברת ESD. הרכיבים הירוקים אשר הוטמעו בבניין 304 נקבעו לפי התקן הישראלי לבנייה ירוקה 5281. הערכת העלויות בבנייה קונבנציונלית בוצעה בסיוע יועץ חיצוני.⁹⁴

בתחילת כל סעיף מובא תיאור של הרכיב הירוק אשר יושם בבניין והשוואתו לרכיב דומה בבניין הייחוס. מיד לאחר מכן מופיעה טבלה המרכזת את עלויות הבנייה בבניין 304⁹⁵ ומשווה אותן לעלויות בבניין הייחוס. למען הקלה על הקורא, הרכיבים השונים סודרו על-פי מבנה תקן 5281.

כאמור, המתודולוגיה שנבחרה לצורך מחקר זה לבחינת העלויות של בנייה ירוקה והשוואתן לעלויות של בניין קונבנציונלי הינה בחינה של העלויות בפועל של רכיבים ירוקים אשר הוטמעו בבניין 304 (ושונים בעלותם מרכיבים בבנייה קונבנציונלית)⁹⁶ והשוואתן להערכת העלויות בבניין ייחוס תיאורטי הנבנה בבנייה קונבנציונלית ועומד בדרישות החוק ותקנות הבנייה. יתרונותיה של מתודולוגיה זו פורטו בפרק 3: שיטות המחקר. בניין הייחוס הינו בניין הזהה לבניין 304 אך ללא הרכיבים של בנייה ירוקה המיושמים בבניין 304.

לצורך ההשוואה הוגדרו שתי אופציות של בנייני ייחוס תיאורטיים:

אופציה א' עונה לדרישות תקן 1045⁹⁷ (בידוד תרמי של בניינים) בגרסתו המעודכנת מספטמבר 2011. למרות שתקן 1045 הינו תקן מחייב מתוקף תקנות התכנון והבנייה 1970 (חלק ה' סימן ג סעיף 5.39), משיחות עם אנשי מקצוע רבים מתחום הבנייה, עולה כי ההטמעה שלו אינה מיושמת בצורה רחבה בישראל.⁹⁸ אם כך, יתרון נוסף של בניין בעל תקן ירוק על פני בניין קונבנציונלי, הוא שבבניין ירוק הבידוד התרמי נבחן בקפידה לעמידה בתקן 5281 ע"י מכון התקנים, בעוד שבבניין קונבנציונלי הבחינה לעמידתו בתקן 1045 אינה תמיד יסודית דייה. בנוסף, אופציה זו הינה בסטנדרט

⁹⁴ מר משה בן חמו מנכ"ל חברת אלפא פריזמה, חברה לניהול פרויקטים בבנייה, בעיקר ע"י ראיונות עם מנכ"ל החברה
⁹⁵ נתוני העלויות השונים התבססו אף הם על ראיונות עם מר אבי מאור מנכ"ל משותף בחברת חנן מור וכן על כתב הכמויות ושרטוטי הבניין. בנוסף, נתוני העלויות נבדקו ע"י מנכ"ל חברת אלפא פריזמה, אנשי מקצוע שונים החברים במועצה הישראלית לבנייה ירוקה, ובמידת הצורך הושושו למחירי שוק של ספקים שונים מתחום הבנייה
⁹⁶ בחישוב נלקחו בחשבון רק אותם רכיבים ירוקים אשר עלותם שונה מרכיבים בבנייה קונבנציונלית. כך למשל לא נלקח בחשבון הבטון של הרצפות, אשר משמש כמסה תרמית, היות ומדובר באותו בטון (עובי ועלות) אשר היה משמש בבניין רגיל

⁹⁷ מעטפת בנייני הייחוס נבחרה כך שבכפוף ליחס זיגוג בקיר הנתון במבנה הייחוס, סביר שהיא עומדת בדרישות החוק ביניה עמידה בתקן 1045 לבידוד תרמי, הגם שחישובים תרמיים מפורטים לעמידה בתקן לא נכללו במסגרת מחקר זה. אופן חישוב הבידוד לבנייני הייחוס מפורט בנספח ב למחקר
⁹⁸ עם זאת נדרש נתון מחקרי אמפירי המאשש טיעון זה.

בנייה המתאים לסטנדרט של בניינים קונבנציונליים חדשים הדומים באופן כללי לבניין 304. הדבר מתבטא בכך שבחתך הקיר החיצוני נעשה שימוש בלוחות גבס (מבפנים לשכבת הבטון).

אופציה ב' עונה לדרישות תקן 1045 בגרסתו משנת 2003, וזאת כיוון שבניין 304 נבנה בשנים 2010-2011, עוד לפני עדכון התקן הנ"ל. בנוסף אופציה זו מתאפיינת בבנייה קונבנציונלית בסטנדרט נמוך יותר בהשוואה לבניינים חדשים הדומים לבניין 304. הדבר מתבטא בכך שבחתך הקיר החיצוני מבפנים לשכבת הבטון יושם טיח וצבע פנים בלבד.

לסיכום, ההבדלים בין שתי האופציות מתבטאים בחתך הקיר החיצוני (לוחות גבס באופציה א' לעומת טיח פנים באופציה ב'), ועמידה בתקן 1045 (אופציה א' עומדת בתקן בגרסתו משנת 2011 ואופציה ב' בגרסתו משנת 2003). כפי שיפורט בנספח ב, ההבדלים בבידוד הנדרש עפ"י שתי הגרסאות של תקן 1045 הם שבתקן המעודכן עלתה באופן ניכר הדרישה לבידוד של: קיר הפרדה בין דירה לחלל סגור שאינו מחומם/מקורר, תקרה עליונה, רצפה מעל חלל פתוח ורצפה מעל חלל סגור שאינו מחומם/מקורר. עם זאת הדרישה לבידוד של קיר חיצוני עלתה באופן קטן יחסית.

ההחלטה לבצע השוואה לשתי אופציות של בנייני ייחוס נבעה מהרצון לבחון את השפעת העדכון של תקן 1045 על הפרשי העלויות בין בנייה ירוקה לקונבנציונלית, וכן לבדוק הפרשים אלו גם במקרה שבניין הייחוס היה נבנה בסטנדרט בסיסי (ללא לוחות גבס), וזאת בכדי לתת לקורא בסיס רחב יותר להשוואה אל מול העלויות של רכיבים ירוקים אשר ייושמו בבניין 304. עם זאת, ניתוח הממצאים (בסוף פרק זה וכן בפרקים 6-8) מבוצע ביחס **לאופציה א' בלבד**, היות ואופציה זו עונה לדרישות תקן 1045 בגרסתו המעודכנת מ-2011, אשר מרגע כניסתה לתוקף מחייבת עפ"י דרישת החוק כל בניין חדש, ולכן גם בניינים קונבנציונליים הנבנים מעתה ואילך מחויבים להיבנות לפי הגרסה המעודכנת. כמו כן, אופציה א' הינה בסטנדרט בנייה המתאים לסטנדרט של בניינים קונבנציונליים חדשים הדומים באופן כללי לבניין 304 ולכן מתאימה יותר להשוואה מאשר אופציה ב'.

1. אנרגיה

א. תכנון

ניתוח אקלימי – בכדי להתאים את הבניין לאקלים המקומי, בוצע ניתוח אקלימי. הניתוח האקלימי כולל את משרע הטמפרטורה ולחות יחסית, משטר רוחות, וניתוח תנועת השמש. בעזרת הניתוח האקלימי נבנתה אסטרטגיה שמטרתה להעניק נוחות תרמית בחללי הפנים של הבניין. אסטרטגיה זו הנחתה חלק מהרכיבים הירוקים שיושמו בבניין:

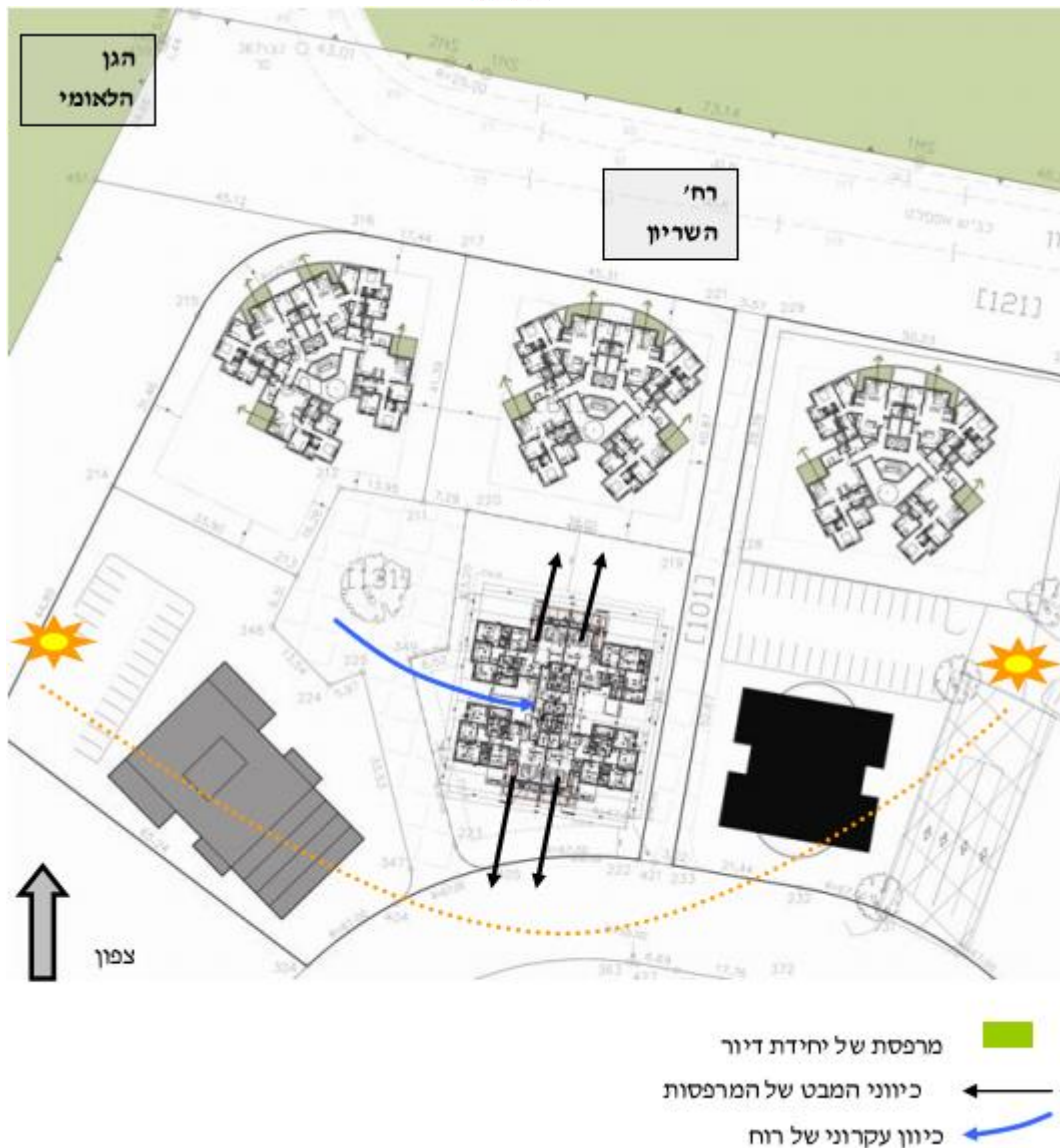
- בכדי להתמודד עם החום בקיץ נעשה שימוש במסה תרמית⁹⁹ פנימית אשר "תאגור" קור במשך הלילה ותפלוט אותו במשך היום, וכן "תאגור" חלק מהקור הנפלט ממע' מיזוג אוויר ובכך תחסוך בפעולתו. בנוסף נעשה שימוש בהצללות במבנה ובזגוגיות Low-e על החלונות הדרומיים, דרום מערביים ודרום מזרחיים בכדי לצמצם את חדירת השמש והחום לדירות. כמו כן, הותקנה הכנה למאווררי תיקרה בדירות להגברת האוורור בלילה.
- הניתוח הראה שבעונות המעבר ניתן יהיה להסתפק באוורור הטבעי הקיים ע"י פתיחת חלונות ויישום הצללות אשר מאפשרות בעונות אלו חדירת שמש דרומית לחימום הדירה.
- בחורף, עכב הצורך להגדיל את החימום הפאסיבי של הבניין הוחלט למקסם את הפניית המבנה לדרום, להתקין בו פתחים לחדירת שמש, ולהיעזר במסה תרמית אשר תאגור את החום במשך היום ותצמצם את הצורך לחימום באמצעים אקטיביים.

ניתוח הצללות - לבניין בוצע ניתוח הצללות מפורט אשר התחשב במיקום הבניין, מימדי הבניין (גובה ורוחב), והשפעה הדדית של הבניין והבניינים הסמוכים לו, וכל זאת בעונות השנה השונות. מהניתוח עלה שההצללות מבניינים סמוכים על בניין 304 הינן מעטות, וכי בניין 304 אינו פוגע בזכויות השמש¹⁰⁰ של בניינים סמוכים.

ניתוח העמדת מבנה - מתוך שיקולי העמדת המבנה במגרש המושפעים גם מגבולות המגרש והשטח הציבורי הפתוח דרומית לבניין, ומתוך הרצון ליצור חזיתות מרובות יותר ליחידות הדיור וע"י כך לשפר את האוורור והתאורה בדירות, נבחרה צורת H (פרפר) לבניין בזווית העמדה של 10 מעלות ביחס לדרום כאשר החזיתות העיקריות בהן ממוקמים הסלון, המרפסות וחדרי השינה העיקריים, הן צפון ודרום.

⁹⁹ מסה תרמית מייצגת את יכולת אגירת החום של חומר והיא עומדת ביחס ישר לצפיפות החומר. עם חומרים בעלי מסה תרמית גבוהה נמנים: אבן, בטון, זכוכית, מים. מתוך אתר המועצה הישראלית לבנייה ירוקה.

¹⁰⁰ זכויות שמש היא הזכות לגישה ישירה לשמש במשך זמן מספק ורצוף בכדי שאפשר יהיה ליהנות ממנה לצרכי מאור, חימום, הפקת אנרגיה ועוד. בישראל אין עדיין תקן מחייב לשמירת זכויות שמש אך עפ"י המכון לחקר המדבר, היחידה לאדריכלות מדברית ממליצה כי זמן קבלת הקרינה בחזית הדרומית ביום הקצר בשנה (21.12) יהיה כ-6 שעות



איור 1-4. העמדת בניין 304 ביחס לנוף¹⁰¹

צורת העמדת מבנה זו מעניקה לכל דירה שלוש חזיתות הפונות החוצה, כלומר שלושה כיווני אוויר. בנוסף היא מאפשרת חזית דרומית קטנה גם לדירה הצפון מזרחית ואוורור הלובי הקומתי, וכן חדירת אוויר ממערב שהוא כיוון הרוח העיקרי באזור זה. יש לציין שצורת ה H של הבניין הגדילה משמעותית את שטח המעטפת שלו וכן את שטחי הזיגוג (מספר חלונות), וכתוצאה מכך גם את ההשקעה הנוספת בגין בידוד קירות חיצוניים ובגין זיגוג.

¹⁰¹ מתוך פרוסטינג הדס 2010, פרויקט הארגמן – בניין 304 דו"ח התאמה לת"י 5281, חברת יוזמות – תכנון וניהול סביבתי בע"מ, ע"מ 55



איור 2-4. בניין 304 - קומה טיפוסית¹⁰²

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 304	סה"כ עלות בבניין 304	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
תכנון וניתוח ביו-אקלימי (ניתוחי אקלים, הצללות והעמדת מבנה)	1500 ₪ לדירה	$1500 * 26 = 39000$	אין הכרח לבצע	0

¹⁰² שם ע"מ 18

ב. בידוד תרמי

בדיקת דירוג דירות לפי צריכת אנרגיה

בבדיקה מרשמית עפ"י תקן 5282¹⁰³ (דירוג בניינים לפי צריכת אנרגיה) חלק 1 נבדקו 8 דירות טיפוסיות ונמצא ש- 15 דירות מתוך 26 דירות הבניין עומדות בקריטריונים לקבלת דרגה 1 לפי שיטה מרשמית. ב- 11 הדירות הנותרות נמצא שקיימת בעיה בשטח יחסי מקסימלי של קירות חוץ וחלונות בדירה, ועל כן בוצעה בבדיקה תפקודית בסימולציה מחשב לדירה עם השטח היחסי הגבוה ביותר בין קירות חוץ וחלונות. בבדיקה נמצא שהדירה יכולה לקבל דרגה 1 לפי תקן 5282 וזאת הודות לזיגוג החלונות (המספק רמת בידוד מסוימת) ולבידוד של הקירות החיצוניים, ועל כן כל דירות הבניין עומדות בקריטריונים לקבלת דרגה 1.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 304	סה"כ עלות בבניין 304	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
בדיקת דירוג דירות לפי צריכת אנרגיה עפ"י תקן 5282	4000 ש"ח לבדיקה מרשמית ו 7000 ש"ח לבדיקה תפקודית לכל הבניין	11000	אין הכרח לבצע	0

חלונות ורכיבים

כל חלון מורכב (ועל כן עלותו מושפעת) ממספר לא מבוטל של רכיבים ובניהם: תריס (רפפות), ארגז תריס, מנוע תריס, זגוגיות, פרופיל אלומיניום, רשתות יתושים, ידיות, צירים, צבע ועוד. מחקר זה מתחשב רק בעלותם של רכיבי הבנייה הירוקים כלומר כאלו התורמים לעמידת הבניין בתקן 5281. מתוך כל רכיבי החלונות הנ"ל, רק הזגוגיות ובידוד ארגז התריס (ראה סעיף הבא) תורמים לעמידתו של הבניין בתקן בנייה ירוקה כיוון שהם משפיעים על רמת הבידוד התרמית והאקוסטית של החלון. אומנם קיימים גם פרופילי אלומיניום בעלי נתקים תרמיים המבודדים ויקרים יותר מפרופילים רגילים, אך לא נעשה שימוש בפרופילים מסוג זה בבניין 304. בנוסף, כיום פרופיל אלומיניום מסוים מתאים לטווח גדול של עובי זגוגיות, ולכן בנייה ירוקה בה מיושמות זגוגיות עבות (למשל זגוגית בידודית¹⁰⁴ 6-12-6), אינה מחייבת שימוש בפרופילים מיוחדים או יקרים יותר, וניתן להשתמש בפרופילים הנפוצים בבנייה קונבנציונלית. כמו כן, בחירת היזם בחלונות יקרים יותר כמו למשל חלונות סב-נטוי (דריי קיפ), במקום חלונות הזזה דו אגפי, גם לא אין השפעה מהותית על רמת הבידוד של החלונות והדירות.

לסיכום, בהשוואה בין עלותו של חלון מבודד (תרמית ואקוסטית) לחלון קונבנציונלי, כיוון שאין הבדל הכרחי בין רכיבי החלון השונים (פרט לזגוגיות), ואין הבדל בעלות העבודה או ההובלה הנדרשות,

¹⁰³ התקן עבר עדכון בספטמבר 2011 אך הבניין קיבל הסמכה לפי התקן משנת 2005 בו היו רק 2 דרגות דירוג זגוגית הבנויה משני לוחות זכוכית ובניהם שכבת אוויר. משפרת בצורה משמעותית את הבידוד התרמי של החלון.
¹⁰⁴

ההבדל בעלותם של שני החלונות מתבטא בהבדל עלות הזגוגיות בלבד.¹⁰⁵ לכן, לצורך חישוב עלות ההשקעה הנוספת שבוצעה בבניין 304 לעומת בניין קונבנציונלי, חושבו העלויות של הזגוגיות בלבד בכל אחד מהבניינים כמפורט להלן.

בבניין 304 מפרט הזגוגיות הינו: בכל חלון בעל שטח זיגוג גדול מ 1.5 מ"ר הותקנה זגוגית בידודית 4-6-6 מ"מ ובוויטרינות הותקנה זגוגית 6-12-6 מ"מ מחוסמת משני הצדדים. בחלונות ששטחם קטן מ 1.5 מ"ר הותקנה זכוכית בטחון (רבודה)¹⁰⁶ 5-0.76-4 מ"מ. בחזית הדרומית הותקנה זכוכית Low-e בכל החלונות. בחלונות חדרי שירותים ואמבטיה (גם בחזית הדרומית) הותקנה זגוגית בטחון 3-0.76-3 מט חלבי.^{107 108}

בבניין הייחוס מפרט הזגוגיות הינו: במפתחים גדולים מ 2 מ"ר נעשה שימוש בזכוכית בטחון (רבודה 4-0.76-4). במפתחים קטנים יותר נעשה שימוש בזכוכית בודדת (מונוליטית) בעובי 5 מ"מ.¹⁰⁹ בחלונות חדרי שירותים ואמבטיה הותקנה זגוגית בטחון 3-0.76-3 מט חלבי.

מחיר הזגוגיות לחישוב העלויות בבניין 304 ובבניין הייחוס מתבסס על ממוצע של 3 הצעות מחיר אשר התקבלו מחברות לייצור זכוכית וחלונות. המחיר שהתקבל הינו מחיר למ"ר זכוכית לפי מידה, ללא מע"מ אשר אליו נוסף רווח קבלן אלומיניום בשיעור 30% ורווח קבלן בניין בשיעור 17%. המחיר אינו כולל עלות הובלה והתקנה היות וההבדל בעלויות אלו בין חלון בעל זיגוג מבודד לבין חלון בעל זיגוג רגיל הינו זניח. המחיר הסופי הוכפל במספר המ"ר של זכוכית מכל סוג עפ"י גדלי החלונות המפורטים במפרט האלומיניום של בניין 304. להרחבה נוספת על אופן החישוב של רכיב הזגוגיות ראה נספח א.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 304	סה"כ עלות בבניין 304	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
זגוגיות	כמוסבר למעלה להרחבה - ראה נספח א	153673	כמוסבר למעלה להרחבה - ראה נספח א	66845

יש לציין שאופן תמחור עלות הזגוגיות אינו מתבסס על העלות בפועל של היזם, כפי שנעשה לגבי שאר רכיבי הבנייה הירוקים, היות ועלות זו כוללת את כל רכיבי החלונות. לשם השוואה, העלות הכוללת של החלונות בבניין 304 ליזם (הכוללת תריס, מנוע תריס, זיגוג, אלומיניום, חלונות ממ"ד, ארגז תריס, הובלה והתקנה) הינה 41,000 ₪ לדירה כלומר 1,066,000 ₪ לבניין כולו.

¹⁰⁵ מסקנה זו מבוססת על ראיונות עבודה עם מספר אנשי מקצוע שונים בתחום האלומיניום והחלונות וכן מבדיקה של מפרטי החלונות בבניין 304

¹⁰⁶ זכוכית המורכבת משני לוחות זכוכית עם יריעה פלסטית ביניהם. נותנת מענה טוב לבידוד אקוסטי אך מבודדת תרמית רק מעט טוב יותר מזכוכית בודדת.

¹⁰⁷ ברזון ליאניד 2010, מפרט טכני לעבודות אלומיניום שמורת הארגמן מגרש 304, א.ג.מ. תכנון ייעוץ וניהול בע"מ

¹⁰⁸ חלונות הממ"ד לא נכללים בחישוב בסעיף זה היות והם זהים בבניין 304 ובבניין הייחוס

¹⁰⁹ בדומה למפרט החלונות בבניין 1 בנתניה בו נעשה שימוש בזגוגית בודדת 5 מ"מ בכל החלונות עם שטח זיגוג קטן מ 1.5 מ"ר, ובהתייעצות עם אנשי מקצוע מתחום האלומיניום וכן חב' אלפא פריזמה

בידוד ארגז תריס

הרכיב השני בחלונות פרט לזגוגיות, המשפיע על רמת הבידוד של החלון הוא בידוד ארגז התריס. בבניין 304 בכל חלונות הדירה ארגז התריס בודד באמצעות לוח פוליסטירן מוקצף קשיח (פמ"ק)¹¹⁰ בעובי 2 ס"מ.

בידוד ארגז תריס מקובל בבנייה קונבנציונלית ולכן בבניין הייחוס נקבע שארגזי התריסים הינם מבודדים.¹¹¹ אי לכך אין למרכיב זה השפעה על עלויות בנייה ירוקה.

קירות חיצוניים

לצורך בידוד והשגת מסה תרמית הקיר החיצוני ("קיר חיצוני מסוג 1") של הבניין בנוי באופן הבא (מבחוץ פנימה):¹¹²

- חיפוי אבן בעובי 4 ס"מ – חיפוי האבן הינו דרישה מקומית של התב"ע, ולכן גם בבנייה קונבנציונלית היה צורך ליישם חיפוי אבן, ולכן לא נלקחה עלות האבן בחישוב הפרשי העלות בין בנייה ירוקה לבנייה קונבנציונלית במקרה זה. בנוסף, לחיפוי האבן יש משמעות זניחה לביצועים התרמיים של הקיר. היא אומנם מגדילה את קבוע הזמן התרמי¹¹³ שלו, אך קבוע זה הוא גבוה מאוד גם ללא האבן.
- טיט בעובי 4 ס"מ – דומה למימוש בבנייה קונבנציונלית בה יש דרישה לחיפוי אבן. אי לכך עלות הטיט לא נלקחה בחישוב הפרשי העלויות בין בנייה ירוקה לקונבנציונלית במקרה זה.
- בידוד – לוח פוליסטירן משוחל¹¹⁴ בעובי 3 ס"מ – רכיב זה שונה מבנייה קונבנציונלית
- בטון בעובי 16 ס"מ – זהה לבנייה קונבנציונלית
- בלוק מבטון תאי¹¹⁵ 600 ק"ג בעובי 7 ס"מ – מטרתו להגדיל את הבידוד של הקירות. רכיב זה שונה מבנייה קונבנציונלית
- טיח פנים בעובי 1 ס"מ – זהה לבנייה קונבנציונלית

כפי שהוסבר בהרחבה בתחילת פרק זה, על מנת להשוות את חתך הקירות החיצוניים לבנייה קונבנציונלית, בוצעה השוואה ביחס לשתי אופציות של בנייני ייחוס. הראשונה עונה לדרישות תקן 1045 (בידוד תרמי של בניינים) בגרסתו המעודכנת מספטמבר 2011, וכן היא בסטנדרט בנייה המתאים לסטנדרט של בניינים קונבנציונליים חדשים הדומים באופן כללי לבניין 304. היות ובניין 304 נבנה בשנים 2010-2011 כאשר עוד היה בתוקף תקן 1045 בגרסתו משנת 2003, האופציה השנייה של קירות חיצוניים בבניין הייחוס הינה בסיסית ביותר ועונה לתקן 1045 בגרסתו משנת 2003.

¹¹⁰ חומר מבודד העשוי מפוליסטירן מוקצף ("קלקר") קשיח ובא במספר משקלים מרחביים (ק"ג לקוב). במידה ולא מצוין

אחרת הכוונה ללוחות במשקל מרחבי של 30 ק"ג לקוב כדוגמת 30F

¹¹¹ עלות תוספת לבידוד ארגז התריס מוערכת ב 50 ₪ לחלון קטן מ-2 מ"ר ו-120 ₪ לחלון גדול יותר.

¹¹² עפ"י פירוט חתכי קיר מגולד הנדסה מה-6.2.11

¹¹³ קבוע הזמן התרמי הינו נתון האומר תוך כמה שעות החום / קור מחוץ לבניין יתחילו להיות מורגשים בתוך הדירה. קבוע

הזמן התרמי של בניין 304 הוא מעל 100 שעות

¹¹⁴ חומר מבודד העשוי מפוליסטירן מוקצף ("קלקר") קשיח בשיטת שיחול כדוגמת רונדופן

¹¹⁵ הכוונה לבלוקים מבטון תאי מאושפרים באוטוקלב כדוגמת הבלוקים מתוצרת חברות אשקלית או איטונג

באופציה א' חתך הקיר החיצוני בבניין הייחוס הוא:

- אבן בעובי 4 ס"מ – עפ"י דרישת התב"ע יש צורך בחיפוי חיצוני של אבן
- טיט בעובי 4 ס"מ – לצורך יישום האבן יש צורך בשימוש בטיט
- בידוד – לוח פוליסטירן מוקצף קשיח בעובי 3 ס"מ בכל מעטפת הבניין
- בטון בעובי 16 ס"מ
- לוח גבס בעובי 1.2 ס"מ
- שפכטל וצבע

באופציה ב' חתך הקיר החיצוני בבניין הייחוס הוא:

- אבן בעובי 4 ס"מ – עפ"י דרישת התב"ע יש צורך בחיפוי חיצוני של אבן
- טיט בעובי 4 ס"מ – לצורך יישום האבן יש צורך בשימוש בטיט
- בידוד – לוח פוליסטירן מוקצף קשיח בעובי 3 ס"מ בכל מעטפת הבניין
- בטון בעובי 16 ס"מ
- טיח וצבע

קיר חיצוני של הממ"ד ("קיר חיצוני מסוג 2") בנוי באופן הבא:

- אבן בעובי 4 ס"מ – עפ"י דרישת התב"ע יש צורך בחיפוי חיצוני של אבן ולכן רכיב זה זהה לבנייני הייחוס
- טיט בעובי 4 ס"מ - לצורך יישום האבן יש צורך בשימוש בטיט ולכן רכיב זה זהה לבנייני הייחוס
- בידוד - פוליסטירן משוחל בעובי 3 ס"מ. בבנייה קונבנציונלית בשתי האופציות בוצע בידוד ע"י לוח פוליסטירן מוקצף קשיח בעובי 3 ס"מ בכל מעטפת הבניין
- בטון בעובי 25-30 ס"מ – זהה לבנייה קונבנציונלית
- טיח תרמי 400¹¹⁶ בעובי 3 ס"מ – הבדל עלות זניח לעומת בנייה קונבנציונלית

למעשה, ההבדלים בין קיר חיצוני של ממ"ד בבניין 304 לבין קיר חיצוני של ממ"ד בבנייה קונבנציונלית, מתבטאים בשכבת הבידוד (פוליסטירן משוחל ובלוק מבטון תאי בלבד), היות והבדל העלות בגין הטיח התרמי הינו זניח.¹¹⁷ כיוון ששטח הקיר החיצוני של ממ"ד נכלל בשטח המעטפת של הבניין, חישוב העלויות להלן של קיר חיצוני כולל בתוכו את העלויות של קיר חיצוני של ממ"ד.

¹¹⁶ הכוונה לטיח תרמי משופר (עם גרגרי פוליסטירן מותפח) בעל מסה מרחבית של 400 ק"ג לקוב
¹¹⁷ עלות טיח תרמי על סוגי השונים בבניין 304 היתה 45 ₪ למ"ר לפי כתב כמויות

הרכיב הירוק קיר חיצוני	אופן חישוב העלות בבנין 304	סה"כ עלות בבנין 304	קיר חיצוני בבנייה קונבנציונלית אופציה א	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית אופציה א	קיר חיצוני בבנייה קונבנציונלית אופציה ב (בסיסית)	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית אופציה ב
אבן וטיט	זהה לבנייה קונבנציונלית עם דרישה לחיפוי אבן			זהה לבנייה קונבנציונלית עם דרישה לחיפוי אבן			זהה לבנייה קונבנציונלית עם דרישה לחיפוי אבן	
פוליסטירן משוחל 3 ס"מ	עלות חומר: 525 ש"ח לקוב כלומר 16 ש"ח למ"ר. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר שטח מעטפת: 3462 מ"ר	$18 * 3462 = 62,316$	פמ"ק בעובי 3 ס"מ	מחושב ביחד עם עלות לוח גבס 1.2 ס"מ שטח מעטפת: 3462 מ"ר	מחושב ביחד עם עלות לוח גבס 1.2 ס"מ	פמ"ק בעובי 3 ס"מ	עלות קוב פמ"ק היא 340 ש' כלומר 10.2 ש' למ"ר. עלות התקנה: 2 ש' למ"ר.	$12.2 * 3462 = 42,236$
בטון 16 ס"מ	זהה לבנייה קונבנציונלית		זהה לבנייה קונבנציונלית			זהה לבנייה קונבנציונלית		
בלוק מבטון תאי 600 ק"ג בעובי 7 ס"מ	עלות קוב בעובי 7 ס"מ היא 550 ש' כלומר 38.5 ש' למ"ר. עלות עבודה 60 ש' למ"ר ¹¹⁸	$98.5 * 3462 = 341,007$	לוח גבס 1.2 ס"מ	120 ש"ח למ"ר (כולל לוח גבס, בידוד פמ"ק ועבודה) שטח מעטפת: 3462 מ"ר	$120 = 3462 * 415,440$	אין הכרח לבצע	0	0
טיח/ שפכטל וצבע פנים	טיח וצבע פנים בעלות 65 ש' למ"ר (כולל עבודה)	$65 * 3462 = 225,030$	שפכטל וצבע	25 ש"ח למ"ר (כולל עבודה) שטח מעטפת: 3462 מ"ר	$25 * 3462 = 86,550$	טיח וצבע פנים	טיח וצבע פנים בעלות 65 ש' למ"ר (כולל עבודה)	$65 * 3462 = 225,030$
סה"כ עלות למ"ר	כולל: פוליסטירן משוחל, בלוק מבטון תאי, טיח וצבע פנים	$18 + 98.5 + 65 = 181.5$	כולל: פמ"ק, לוח גבס 1.2, שפכטל וצבע	120 + 25	145	כולל: פמ"ק, טיח וצבע פנים	12.2 + 65	77.2
סה"כ עלות לקיר חיצוני	כולל: פוליסטירן משוחל, בלוק מבטון תאי, טיח וצבע פנים	$181.5 * 3462 = 628,353$	כולל: פמ"ק, לוח גבס 1.2, שפכטל וצבע	$145 * 3462 = 501,990$	501,990	כולל: טיח וצבע פנים	$77.2 * 3462 = 267,266$	267,266

טבלה 2-4. עלויות קיר חיצוני בבנין 304 ובבנייה הייחוס

¹¹⁸ עפ"י אלפא פריזמה עלות העבודה היא 50 ש' למ"ר בלבד. המשמעות הינה הבדל של 34,620 ש"ח

קירות הפרדה פנימיים בין חלל שאינו מחומם ואינו ממוזג לדירה

קירות הפרדה בין חדר מדרגות לדירה ובין לובי לדירה – הבידוד התרמי בוצע ע"י מערכת טיח תרמי 300 בעובי 3 ס"מ.¹¹⁹ בבנייה קונבנציונלית אופציה א' מיושם טיח תרמי 200 בעובי 3 ס"מ ובאופציה ב' טיח תרמי 400 3 ס"מ. ההבדל בעלויות הינו זניח.

- בידוד תרמי בין פיר מעלית לדירה בוצע בהתאם להנחיות אקוסטיות. רכיב בנייה זה זהה לבנייה קונבנציונלית.
- קירות הפרדה בין מרפסת שירות לחדרים – בוצע מבטון תאי 20 ס"מ. רכיב בנייה זה זהה לבנייה קונבנציונלית.

לכן, אין הבדל בעלויות של קירות ההפרדה הנ"ל בין הרכיבים אשר יושמו בבניין 304 לבין בנייה קונבנציונלית.

¹¹⁹ עפ"י פירוט חתכי קיר מגולד הנדסה מה- 6.2.11

תקרות עליונות בנויות באופן הבא: גג עליון (תקרה עליונה):

- יריעות ביטומניות בעובי 0.5 ס"מ - זהה לבנייה קונבנציונלית
- בטון 1200 בעובי 5 ס"מ - זהה לבנייה קונבנציונלית
- פוליסטירן משוחל בעובי 4 ס"מ – בבניין הייחוס באופציה א מיושם בידוד ע"י לוחות פוליסטירן מוקצף קשיח בעובי 6 ס"מ ובאופציה ב בעובי 3 ס"מ.
- בטון בעובי 20 ס"מ - זהה לבנייה קונבנציונלית
- טיח פנים בעובי 1 ס"מ - זהה לבנייה קונבנציונלית

120 גג מרוצף (מעל דירה):

- אריחי קרמיקה בעובי 1 ס"מ - זהה לבנייה קונבנציונלית
- טיט ביובי בעובי 2 ס"מ - זהה לבנייה קונבנציונלית
- בטון 1200 בעובי 5 ס"מ - זהה לבנייה קונבנציונלית
- פוליסטירן משוחל בעובי 4 ס"מ – בבניין הייחוס באופציה א מיושם בידוד ע"י לוחות פוליסטירן מוקצף קשיח בעובי 6 ס"מ ובאופציה ב בעובי 3 ס"מ.
- בטון בעובי 20 ס"מ - זהה לבנייה קונבנציונלית
- טיח פנים בעובי 1 ס"מ - זהה לבנייה קונבנציונלית

ההבדל בין תקרות עליונות בבניין 304 לבין תקרות עליונות בבנייה קונבנציונלית הוא הבידוד בלבד.

הרכיב הירוק בידוד תקרות עליונות	אופן חישוב העלות בבניין 304	סה"כ עלות בבניין 304	גג בבנייה קונבנציונלית אופציה א	אופן החישוב קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית אופציה א	גג בבנייה קונבנציונלית אופציה ב' (בסיסית)	אופן החישוב קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית אופציה ב
בידוד גג עליון בפוליסטירן משוחל 4 ס"מ	עלות החומר: 525 ש"ח לקוב כלומר 21 ש"ח למ"ר. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר. שטח גג עליון: 207 מ"ר	$23 * 207 = 4761$	בידוד גג עליון ב פמ"ק בעובי 6 ס"מ	עלות קוב פמ"ק היא 340 ש"ח כלומר 20.4 ש"ח למ"ר. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר	$22.4 * 207 = 4637$	בידוד גג עליון ב פמ"ק בעובי 3 ס"מ	עלות מ"ר פמ"ק היא 10.2 ש"ח. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר	$12.2 * 207 = 2525$
בידוד גג מרוצף בפוליסטירן משוחל 4 ס"מ	עלות חומר + התקנה 23 ש"ח למ"ר (כנ"ל) שטח גג מרוצף 421 מ"ר	$23 * 421 = 9683$	בידוד גג מרוצף ב פמ"ק בעובי 6 ס"מ	עלות קוב פמ"ק היא 340 ש"ח כלומר 20.4 ש"ח למ"ר. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר	$22.4 * 421 = 9430$	בידוד גג מרוצף בפמ"ק בעובי 3 ס"מ	עלות מ"ר פמ"ק היא 10.2 ש"ח. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר	$12.2 * 421 = 5136$
סה"כ בידוד תקרות עליונות		14,444			14,067			7662

¹²⁰ גג מרוצף מעל דירה מורכב מ: הגג מתחת למרפסות הפנטהאוז בקומה 7 ומעל לדירות בקומה 6 אשר שיטחו 256 מ"ר, וכן הגג מתחת למרפסות הפנטהאוז והמיני פנטהאוזים בקומה 6 ומעל לדירות בקומה 5 אשר שיטחו 165 מ"ר. סה"כ שטח הגג המרוצף הוא 421 מ"ר

רצפה מעל חלל פתוח ומעל חלל סגור (חלל שאינו מחומם ואינו מקורר) בנויות באופן הבא:

רצפה מעל חלל פתוח: ¹²¹

- קרמיקה בעובי 1 ס"מ – זהה לבנייה קונבנציונלית
- טיט ביובי בעובי 2 ס"מ – זהה לבנייה קונבנציונלית
- חול בעובי 6 ס"מ – זהה לבנייה קונבנציונלית
- מדה בטון ¹²² בעובי 4 ס"מ – זהה לבנייה קונבנציונלית
- פוליסטירן משוחל בעובי 4 ס"מ – בבנין הייחוס באופציה א מיושם בידוד ע"י לוחות פוליסטירן מוקצף קשיח בעובי 3 ס"מ ובאופציה ב בעובי 2 ס"מ.
- בטון בעובי 20 ס"מ - זהה לבנייה קונבנציונלית
- טיח פנים בעובי 1 ס"מ - זהה לבנייה קונבנציונלית

רצפה מעל חלל סגור: ¹²³

כנ"ל אלא שמעל שכבת הבטון השתמשו בבידוד של לוח פוליסטירן מוקצף קשיח בעובי 2 ס"מ. בבנין הייחוס בשתי האופציות מיושם אותו הבידוד (לוחות פמ"ק בעובי 2 ס"מ). ההבדל בין רצפה מעל חלל פתוח וסגור בבנין 304 לבין רצפה מעל חלל פתוח וסגור בבנייה קונבנציונלית הוא הבידוד בלבד.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבנין 304	סה"כ עלות בבנין 304	רצפה בבנייה קונבנציונלית אופציה א	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית אופציה א	רצפה בבנייה קונבנציונלית אופציה ב' (בסיסית)	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית אופציה ב
בידוד רצפה מעל חלל פתוח בפוליסטירן משוחל 4 ס"מ	עלות החומר: 525 ש"ח לקוב כלומר 21 ש"ח למ"ר. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר. שטח הרצפה: 226 מ"ר	$23 * 226 = 5198$	בידוד רצפה מעל חלל פתוח בפמ"ק בעובי 3 ס"מ	עלות קוב פמ"ק היא 340 ש"ח כלומר 10.2 ש"ח למ"ר. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר	$12.2 * 226 = 2757$	בידוד רצפה מעל חלל פתוח בפמ"ק בעובי 2 ס"מ	עלות מ"ר פמ"ק היא 6.8 ש"ח. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר	$8.8 * 226 = 1989$
בידוד רצפה מעל חלל סגור בפמ"ק בעובי 2 ס"מ	עלות קוב פמ"ק היא 340 ש"ח כלומר 6.8 ש"ח למ"ר. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר שטח הרצפה במ"ר: $122 * 2 = 144$	$8.8 * 144 = 1267$	בידוד רצפה מעל חלל סגור בפמ"ק בעובי 2 ס"מ	זהה ל 304	$8.8 * 144 = 1267$	בידוד רצפה מעל חלל סגור בפמ"ק בעובי 2 ס"מ	זהה ל 304	$8.8 * 144 = 1267$
סה"כ בידוד רצפות מעל חלל פתוח וסגור		6,465			4,024			3,256

¹²¹ מדובר ברצפה של דירות 1 ו 2 (קומת קרקע) אשר נמצאות מעל חניות ומחסנים.

¹²² שם כולל ליציקות רצפה בעוביים שונים בד"כ לצורך ביצוע שיפועים שונים ברצפה, פילוס או הגנה על שכבות איטום.

מתוך: [אתר איטום](#)

¹²³ מדובר ברצפה של דירות 5 ו 6 (קומה 1) אשר נמצאות מעל הלובי בקומת הכניסה

ג. טכניקות פאסיביות לחימום, קירור, אוורור ותאורה טבעית

מסה תרמית

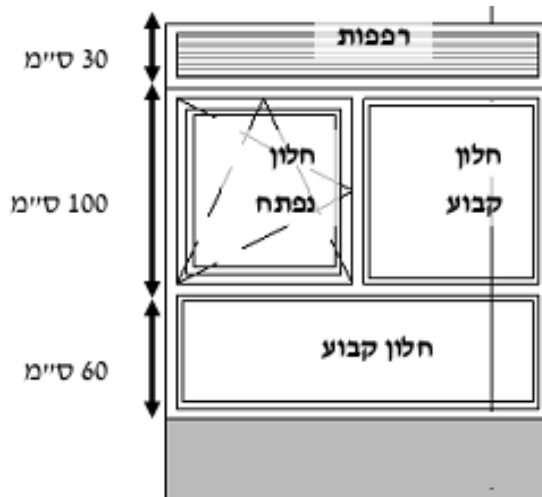
מסה תרמית מהווה מעין מצבר האוגר בתוכו חום או קור ומשחרר אותו לחלל הבית בשעות בהן הוא נדרש. מסה תרמית של חומרי בנייה שונים גבוהה יותר ככל שהם בעלי דחיסות רבה יותר ואינם מכילים חללי אוויר. המסה התרמית יכולה לקלוט את חום השמש או לחילופין את הקור של אוויר הלילה או הקור הנפלט ממערכת המיזוג. ניצול יעיל של תכונה זו יביא לחסכון בהוצאות הקירור (או החימום) של הדירה. לפרויקט בניין 304 המסה התרמית העיקרית שתוכננה היא בטון. להלן פירוט של המסה התרמית אשר נלקחה בחשבון בקבלת תקן 5281 בבניין 304:

- **מחיצות פנים** – נבנו מבלוק שחור בעובי 10 ס"מ. רכיב זה זהה לבנייה קונבנציונלית.
 - **רצפות** – בנויות כדלקמן (מהשכבה התחתונה): רצפת בטון 20 ס"מ, חול וריצוף גרניט פורצלן – אשר כולם מהווים מסה תרמית.
 - **תקרות** – כולן תקרות בטון מטויחות בטיח פנימי בלבד ומהוות מסה תרמית. בסה"כ 100% מהתקרות והרצפות בוצעו כמסה תרמית. בנוסף, 100% מהקירות החיצוניים, המהווים 59% מקירות הדירה, בוצעו אף הם כמסה תרמית (קירות הדירה = קירות פנים + קירות חוץ).
- העלויות הכרוכות ביישום המסה התרמית (ברצפות, בתקרות ובקירות חיצוניים) נכללו בחישוב העלויות הנ"ל של מרכיבי בנייה אלו.

תכנון אדריכלי לשיפור האוורור והתאורה הטבעית

מגוון רכיבים שולבו בבניין על מנת לשפר את האוורור והתאורה הטבעית:

- **פתיחת חלונות לובי** – הלובי הקומתי נבנה כך שהוא צר וארוך ופונה לכיוון צפון – דרום, ובחזיתות מזרח – מערב הותקנו חלונות להגברת התאורה והאוורור הטבעיים. תרשים חלונות הלובי הינו:



איור 3-4. בניין 304 - חלון לובי קומתי¹²⁴

חלונות הלובי נבנו בסטנדרט דומה לבנייה קונבנציונלית ועל כן אין הבדל בעלות בינם לבין בנייה קונבנציונלית.

- **חלון בחדר המדרגות להגברת התאורה הטבעית**- מתוך רצון להגביר את התאורה בחדר המדרגות ועל-ידי כך לעודד שימוש במדרגות במקום במעליות, הוחלט לפתוח פתח תאורה טבעית בחלל זה. זגוגית הצוהר צריכה להיות חסינת אש על-מנת לעמוד בדרישות עמידות בפני שריפות.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 304	סה"כ עלות בבניין 304	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
חלון בחדר המדרגות (העומד בדרישות חסינות לאש)	\$1500 למ"ר של חלון. גודל כל חלון הוא 1.2*1.2 מ"ר ויש בבניין 8 חלונות. שער הדולר הממוצע לשנת 2011 היה 3.56 ש"ח לדולר	1.2*1.2*8*1500=3.56*61,517	במקום חלון יש לבנות קיר רגיל שעלותו כמו קיר חיצוני בבנייה קונבנציונלית כנדרש בשכונת ארגמן המוערכת ב 567.2 ש"ח למ"ר ¹²⁵	567.2 * 1.2 * 1.2 * 8 = 6534

¹²⁴ פרוסטינג הדס 2010 ע"מ 98

¹²⁵ עפ"י החישוב הבא (בש"ח למ"ר) : אבן + טיט 250, בידוד פמ"ק 3 ס"מ 12.2, בטון 16 ס"מ 240, טיח פנים וצבע 65, סה"כ 567.2 ש"ח למ"ר

- **פתח לאורור במחיצת המרפסות** – בכדי להגביר את זרימת האוויר הטבעי לדירות, נפתח פתח בגודל 1.6*0.4 מ"ר במחיצה המפרידה בין המרפסות.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 304	סה"כ עלות בבניין 304	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
פתח אורור גדול במחיצת המרפסות	2750 ₪ לדירה	$2750 * 26 = 71500$	במקום רפפה גדולה אפשר להסתפק ברפפה קטנה וקיר גדול יותר שעלותם 1750 ₪ לדירה	$1750 * 26 = 45,500$

- **צוהר גדול בדלת מרפסת שירות** – בכדי להגביר את התאורה הטבעית בחדרי האמבטיה, נבנה צוהר גדול בדלת מרפסת השירות, ויושמו רכיבים מאירים של זגוגית חלבית בגודל מינימלי של 20*20 ס"מ בדלתות חדרי האמבטיה הפונות למסדרון ולחדר הכביסה. בבנייה קונבנציונלית אין הכרח ליישם צוהר גדול בדלת מרפסת שירות אך כן מקובל ליישם חלון חלבי בדלתות חדרי האמבטיה הפונות למסדרון.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 304	סה"כ עלות בבניין 304	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
צוהר גדול בדלת מרפסת השירות	300 ₪ לדירה	$300 * 26 = 7800$	אין הכרח לבצע	0

זגוגיות Low-e

מניתוח האקלים וההצללות שנערך עלה שיש צורך לשלב זגוגיות Low-e בכל חלונות החזית הדרומית (פרט לחלונות חדרי שירותים ומקלחת וחלונות ממ"ד). בנוסף, הוויטריות נהנות מהצללה של המרפסות מעליהן, וזאת בכדי למנוע חדירת שמש ישירה לדירות. בבנייה קונבנציונלית אין הכרח ליישם רכיב זה אך עלות זגוגיות Low-e נכללה כבר בחישוב העלויות של סעיף חלונות ורכיביהם הנ"ל.

יישום אמצעי אוורור מאולץ

בחדר הורים וחדר שינה נוסף הוכנו נקודות למאווררי תיקרה (מתג כפול בכ"א) על מנת לשפר את אוורור הדירה. כמו כן הותקן מפוח נוסף בממ"ד למניעת הצטברות גזים הנפלטים לעיתים מחומרי הבנייה של קירות הממ"ד. אין הכרח ליישם רכיבים אלו בבנייה קונבנציונלית.¹²⁶

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבנין 304	סה"כ עלות בבנין 304	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
הכנה למאווררי תיקרה	יושמה הכנה בשני חדרי שינה בכל דירה בעלות של 800 ₪ לדירה ¹²⁷	$800 * 26 = 20800$	אין הכרח לבצע	0
מפוח נוסף בממ"ד	600 ₪ למפוח	$600 * 26 = 15,600$	אין הכרח לבצע	0

בידוד תרמי בחדר כביסה

על מנת לבדוד את מכונת הכביסה והמייבש המהווים מקור חום משמעותי, הוחלט להפרידם משאר הדירה ע"י קיר מבדוד יותר עם בידוד תרמי של 2.5 ס"מ. רכיב זה מקובל גם בבנייה קונבנציונלית.

ד. מערכת מיזוג אוויר

הכנה למערכת מיזוג אוויר

בפרויקט הוחלט לבצע הכנה בלבד למערכות מיזוג אוויר מיני מרכזיות. בדירות 4, 5 חדרים בוצעה הכנה למערכת אחת ובדירות 6 חדרים בוצעה הכנה לשתי מערכות על מנת לאפשר הפעלה אזורית לפי הצורך – אחת בחדרי שינה והשנייה בחדר מגורים ומטבח. ההכנות מאפשרות התקנת מזגנים מיני מרכזיים מדגם משאבת חום עם מדחס בתפוקה קבועה או משתנה (inverter). רכיב זה מקובל גם בבנייה קונבנציונלית.

ה. מסתור כביסה

בכל יחידות הדיור הותקנו מתקני תליית כביסה עם מסתור. רכיב זה זהה לבנייה קונבנציונלית.

¹²⁶ במאי 2010 נכנסה לתוקפה תקנה חדשה של פיקוד העורף (קובץ תקנות 6869) המחייבת התקנת מערכת אוורור וסינון אוויר בכל ממ"ד חדש הנבנה בישראל.

¹²⁷ העלות המוערכת להכנה למאוורר תיקרה אשר ניתנה מאלפא פריזמה ובבדקה גם מול מחירון דקל הינה סביב 200 ₪ לנקודה כלומר 400 ₪ לדירה ולא 800. הבדל זה מצביע על עלות של 10400 ₪ לרכיב זה במקום 20800 כפי שצוין ע"י חנן מור

2. קרקע

א. צפיפות

קריטריון הצפיפות נועד להבטיח יעילות בשימוש משאב הקרקע. עפ"י תמ"א 35 ליישוב כנס ציונה, צפיפות ממוצעת מינימלית צריכה להיות 6 יחידות דיור לדונם. בפרויקט הארגמן שטח המגרשים הינו 7.515 דונם ועליו מתוכננות 84 יח"ד, שהן 11.17 יח"ד לדונם, כלומר הפרויקט עמד בדרישות המינימליות של תמ"א 35 ואף מעבר לכך. הדרישה לעמידה בדרישות הצפיפות של תמ"א 35 זהה בבנייה קונבנציונלית.

ב. מירוב קרקע - חניות

בבנין 304 נבנו שני מפלסי חניה ובהם 52 מקומות חניה (41 בתחתון ו-11 בעליון), לאחר שנבדקו שהבנין אינו נמצא באזור סכנת ראדון ואינו פוגע במערכות טבעיות של מסלע ומים. הרשות המקומית דורשת הקצאה ל-50 חניות בבנין שכזה, אך לאו דווקא כחנייה תת קרקעית, בעוד תקן 5281 מעניק ניקוד לחניונים ושטחי שירות תת קרקעיים שהם בהכרח יקרים יותר. עם זאת, היות והשטח הכולל של המגרש הינו 2028 מ"ר בלבד, ההנחה כאן היא שגם בבנין קונבנציונלי בעל נתונים זהים לבנין 304 היה הכרח לבצע חניה תת קרקעית. לכן אין הבדל בעלות רכיב זה בין בנין 304 לבנייני הייחוס.

ג. שימור קרקע

שימור הקרקע בוצע ע"י:

1. התאמה מיטבית של הבנייה לתבליט טבעי ולתוואי השטח – הבנין הותאם לתבליט הטבעי ולתוואי השטח הקיים במגרש. מפלס החניה התחתון מוקם באזור הנמוך ביותר במגרש. אופן ניצול קרקע זה נפוץ בבנייה קונבנציונלית וזהה לבנייני הייחוס שנקבעו.
2. שיקום נופי של אזורים אשר הופרו בזמן עבודות העפר ע"י קרקע מקומית – עודפי העפר מהחפירות לבנין נאמדו ב 7590 מ"ק והם שימשו למילוי חוזר בשטחי הגינון, לסתימת בורות, לצרכים שונים באתרי הבנייה האחרים של קבוצת חנן מור בשכונת ארגמן, וכך כל עודפי העפר יישארו בנס ציונה כדרישת העירייה. אופן ניצול זה של עודפי העפר נפוץ גם בבנייה קונבנציונלית (על פי רוב מטעמים כלכליים).

3. פיתוח הגינה – תכנון הגינה נעשה בהקפדה על חיסכון במים. הצמחים המשולבים בגינה תואמים את רשימת הצמחים החסכניים של משרד החקלאות. נעשה שימוש בחיפויים יבשים כתחלופה למדשאות, ובכך הופחתה ההתאידות בכ-50% וצומצמה התחממות הקרקע לעומת אדמה חשופה. הגינה חולקה לאזורי צמחים בין השאר גם לפי צריכת המים שלהם, ונעשה שימוש בקווי השקיה נפרדים. הותקן מחשב השקיה המאפשר הפעלת ברזים נפרדים לאזורי גינה שונים ובמועדים שונים, ובכך יושם חיסכון משמעותי במים. נעשה שימוש בטפטפות המעלות את יעילות השימוש במים להשקיה, ופורטו הנחיות ביצוע לגן ולוועד הבית על מנת לתפעל את הגינה ביעילות ובחיסכון.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבנין 304	סה"כ עלות בבנין 304	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
פיתוח גינה חסכנית במים	עלות פיתוח של 280 ₪ למ"ר. שטח הגינה הוא 680 מ"ר	$280 * 680 = 190,400$	עלות פיתוח של 250 ₪ למ"ר	$250 * 680 = 170,000$

שטח הפיתוח של הבניין (הכולל שבילים וכד') הוא 1350 מ"ר ויש לציין שגם בו נעשה שימוש ברכיבי בנייה ירוקים כגון שימוש בחומרים ממוחזרים. עם זאת, לצורך חישוב סעיף זה הוחלט להתחשב בשטח הגינה בלבד, היות וניכר כי עלות ההשקעה הנוספת בגין רכיבים ירוקים בשטח הפיתוח שאינו גינה, קטנה יחסית.

4. נטיעת עצים בוגרים – בעיקר עצי הדר – רכיב זה מקובל גם בבנייה קונבנציונלית.

ד. זיהום קרקע

בוצעה סקירה ראשונית של האתר לבחון האם קיים פוטנציאל לקרקע מזוהמת באתר באמצעות איסוף מידע ראשוני וסיור במקום. נמצא כי הקרקע שימשה לחקלאות (בעיקר פרדסים). בקידוחי קרקע למטרות ביסוס נמצאו תאי פסולת בניין אשר הוצאה מהמקום. מסקנות הסקר היו שאין פוטנציאל כלשהו ליצירת זיהום קרקע מתעשייה או דלקים. עלות הסקר הינה 4000 ₪ אך היות והסקר משמש את כל 5 הבניינים של היזם אשר נבנים בפרויקט, עלות הסקר עבור בנין 304 הינה זניחה. בבנייה קונבנציונלית אין הכרח לבצע סקר שכזה.

3. מים

א. חיסכון במים שפירים

- הותקנו חסכמים ומיכלי הדחה דו כמותיים אשר עפ"י הערכת היזם, המבוססת על מידע מפרויקטים קודמים ונתוני יצרן, יביאו לחיסכון של כ- 33% במים שפירים. היות והגינה שיושמה הינה חסכונית במים, הערכת החיסכון הינה 3-4 ליטר ליום למ"ר בממוצע שנתי (צריכה משוערת של 1-2 ליטר ביום למ"ר לגינה חסכונית בממוצע שנתי, לעומת 5 ליטר ביום בגינה שאינה חסכונית במים).
- בגינה הותקנה מערכת השקיה חכמה – העלות נכללה בסעיף קרקע (ראו פירוט בע"מ קודם)
- הותקנה מערכת לשימוש במי עיבוי המזגנים לטובת השקיית הגינות. ספיקתה המקסי' של המערכת היא 250 ליטר בשעה, אך ההערכות הריאליות הן שהמערכת צפויה לספק 1040 ליטר מים ביום שיא עפ"י הערכת היזם כי דירת 4 חדרים מייצרת 40 ליטר מי עיבוי מזגנים ביום קיץ מהביל.

הרכיב הירוק- חסכון במים	אופן חישוב העלות בבנין 304	סה"כ עלות בבנין 304	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
התקנת חסכמים ומיכלי הדחה דו כמותיים	זהה לבנייה קונבנציונלית		זהה לבנייה קונבנציונלית	
התקנת מערכת לשימוש במי עיבוי מזגנים	עלות המערכת 30,000	30,000	אין הכרח לבצע	0

ב. מי נגר וניקוז

- שטחי החלחול מהווים 35% משטח המגרש ובכך עומדים בדרישות התב"ע לשטחי חלחול. הדרישה עפ"י התב"ע לשטחי חלחול בבנייה קונבנציונלית הינה זהה.
- הבניין תוכנן כך שלא יפגע במערכות הניקוז הטבעיות הקיימות. אופן תכנון זה אינו טומן בחובו עלויות נוספות.
- בורות חלחול לקליטת מי נגר משטחים שאינם מזוהמים – בוצעו 4 בורות חלחול בקוטר 0.8 מ' ובעומק 10 מ' כ"א בעלות כוללת של 30,000 ₪. בבנייה קונבנציונלית גם כן יש ליישם בורות חלחול בהתאם להנחיות היועץ המתאים (יועץ ניקוז או נוף למשל) המתחשב בסוג הקרקע, אחוז השטח הבנוי, תקנות הבנייה של הרשות המקומית, הנחיות משרד השיכון¹²⁸ ועוד. היות ואין תקנות אחידות מחייבות לגבי גודל בורות החלחול ולמעשה ההנחיות מתקבלות מהיועץ המתאים, קשה להעריך מהו גודל בורות החלחול הנדרשים מבניין קונבנציונלי דומה, ומכאן שקשה להעריך את עלותם המדויקת. עם זאת ברור כי הפרש העלויות בין ההשקעה בבורות

¹²⁸ פרלמן אלון וחובריו (2004), מדריך לתכנון ובנייה משמרת נגר עילי

חלחול בבניין 304 לבין זו שבבניין קונבנציונלי צפוי להיות זניח ומוערך לכל היותר באלפי שקלים בודדים.¹²⁹

4. נושאים סביבתיים אחרים

א. פסולת ביתית

בוצעה הכנה להפרדת פסולת רטובה ויבשה באמצעות תכנון חדר אשפה גדול בשטח של 24 מ"ר ובו 4 פחים של 1,100 ליטר לפסולת רטובה, וכן 2 פחי להפרדת פסולת יבשה. בבנייה קונבנציונלית היה ניתן להסתפק בחדר אשפה בגודל 20 מ"ר¹³⁰ וב- 4 מ"ר הנותרים אפשר היה לבנות עוד מחסנים פרטיים. העלות של בניית מחסן פרטי מוערכת ב 2500 ₪ למ"ר, אלא שמ"ר מחסן פרטי אפשר למכור ב- 5000 ₪ למ"ר. כלומר בבנייה ירוקה קיימת עלות בגין הפסד מכירת שטח אחסון פרטי.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 304	סה"כ עלות בבניין 304	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
חדר אשפה	נבנה חדר בגודל 24 מ"ר בעלות 3000 ₪ למ"ר	עלות בנייה: $24 * 3000 = 72,000$	חדר אשפה בגודל 20 מ"ר בעלות 3000 ₪ למ"ר ומחסן בגודל 4 מ"ר בעלות 2500 ₪ למ"ר מכירת שטח מחסן ב 5000 ₪ למ"ר	עלות בנייה: $20 * 3000 + 4 * 2500 = 70,000$ רווח ממכירת מחסן: $5000 * 4 = 20,000$
סה"כ עלות		72,000		$70,000 - 20,000 = 50,000$

ב. ניהול סביבתי של מהלך הבנייה

1. מחזור וצמצום פסולת בנייה - הקבלן התחייב להעביר לפחות 30% מפסולת הבנייה למחזור או שימוש חוזר מחוץ לאתר. סה"כ כמות פסולת הבניין מוערכת בכ-20 טון לדירה (520 טון לבניין כולו). מבירור לגבי עלות הטמנת טון פסולת באתר הטמנה לעומת אתר הממחזר את הפסולת עלה שאין הבדל בעלות והיא נעה סביב 45 ₪ לטון.¹³¹
2. שימוש בתבניות יציקה רב פעמיות – כל היציקות של בטון בעובי 16 ס"מ בוצעו ע"י תבניות מתכת רב פעמיות במקום תבניות עץ. שיטה זו מקובלת גם בבנייה קונבנציונלית.
3. נכתבה תכנית לניהול סביבתי של אתר הבנייה – מטרת התוכנית למנוע ולצמצם מפגעים סביבתיים שונים כגון רעש, לכלוך, אבק, חוסר סדר, זיהומי קרקע, פתרון סניטרי לביוב בתחום האתר

¹²⁹ לשם השוואה, מערכת בורות חלחול מינימאלית ביחס לנתוני בניין 304 ולתקופת חזרה של שנתיים בלבד, מונה לפחות 4 בורות בקוטר 0.5 מ' ובעומק 10 מ', ועלותה 21,000 ש"ח
¹³⁰ דרישות עריית נס ציונה לבניין עם 26 דירות הדומה לבניין 304 הן שבחדר האשפה יהיו 5 פחים ירוקים לפסולת יבשה בנפח 770 ליטר כ"א, 2 עגלות חומות לפסולת אורגנית בנפח 360 ליטר כ"א ו 2 עגלות כחולות לנייר ועיתונים בנפח 360 ליטר כ"א (המידע התקבל ממר תומר רחמים ממחלקת שפ"ע בעריית נס ציונה). חישוב גודל חדר האשפה בבניין הייחוס בוצע לפי הנתונים הטכניים של פחי אשפה אלו עפ"י מפרט של חברת דולב המספקת פחים כגון אלו
¹³¹ הבירור בוצע מול חברת בני וצביקה בע"מ וחברת א.פ.י. בע"מ המתמחות בטיפול ומחזור פסולת בניין

ועוד. התוכנית נעשתה לכל שלב משלבי הבנייה בנפרד והתייחסה גם למחזור, חסכון במים וכד'. כתיבת התוכנית בוצעה ע"י חברת ESD אשר ביצעה את הניתוח האקלימי של הבניין ועלות כתיבתה נכללה בסעיף זה. באתר זה עלות יישום התכנית הייתה זניחה, אם כי במקרים אחרים יתכנו עלויות הקשורות בגידור נוסף, הגנה על עצים, ביטון משטחי פריקה ושטיפת גלגלי משאיות.

4. שימוש בחומרי בנייה ירוקים – בוצע שימוש בחומרי בנייה ירוקים בעלי תו ירוק, לפחות עבור הרכיבים של טיח, צבע ובלוקים. חומרים אלו או חומרים במחיר דומה מקובלים גם בבנייה קונבנציונלית.

ג. איכות אוויר ואורור

הבניין נבנה בצורת H ארוך רגליים (או פרפר כפי שכונה על ידי היזם) וכך נוצרו לכל דירה 3 חזיתות בעלות פתחים לאורור ותאורה טבעיים. כמו כן יושם מפרט חלונות הצפוי לאפשר 200-500 החלפות אוויר בשעה בחדרי השינה והמגורים. עלות רכיבים אלו נכללה בסעיף התכנון, הבידוד התרמי ושטח המעטפת של הבניין.

בקומת המרתף (חניון) בוצעו פתחים לאורור טבעי. רכיבים אלו מקובלים גם בבנייה קונבנציונלית.

ד. רעש

העמידה בדרישות אקוסטיות הושגה הודות לקירות החיצוניים, חלונות ופרופילי אלומיניום בעלי תכונות אקוסטיות, זיגוג כפול, דיפון ארגזי תריסי הגלילה בחומרים מבודדים, וכן קירות ותקרות (רצפות) המונעות מעבר רעש. רכיבים אלו מיושמים ברובם גם בבנייה קונבנציונלית ועלותם נכללה בסעיף האנרגיה.

ה. קרינה

נעשה שימוש בחומרי בנייה העומדים בתקן 5098 (תכולת יסודות רדיואקטיביים טבעיים במוצרי בנייה). שימוש בחומרי בנייה העומדים בתקן זה זהה לנעשה בבנייה קונבנציונלית.

עפ"י חוק הקרינה הבלתי מייננת (2006)¹³² ותקנות הקרינה הבלתי מייננת (2009),¹³³ קיימת חובה לקבלת היתרים להקמה והפעלה של מתקני השנאה כפי שקיימים בחדר טרנספורמציה בבניין 304, דבר המחייב בין היתר ביצוע בדיקות של רמת הקרינה האלקטרומגנטית מהמתקין. בנוסף, בהיתרי הבנייה של וועדות התכנון המקומיות, עפ"י רוב קיימת דרישה לביצוע בדיקות לקרינה בלתי מייננת.¹³⁴ והיה והבדיקות חוזות או מראות שהקרינה ממתקני השנאה עלולה או מגיעה לסף הקרינה המומלץ ע"י המשרד להגנת הסביבה,¹³⁵ על היזם לנקוט פעולות לצמצום הקרינה אל מתחת לסף. בבניין 304 נערכו בדיקות קרינה כנדרש ובחדר הטרנספורמציה בוצע בידוד ע"י לוחות אלומיניום ופלדת סיליקון המונעים קרינה. עלות יועץ קרינה וביצוע בדיקות הייתה 13,300 ₪ ובנוסף עלות הבידוד של חדר טרנספורמציה הייתה 30,000 ₪. היות ובדיקות הקרינה ויישום בידוד מונע

¹³² [חוק הקרינה הבלתי מייננת 2006](#), רשומות ספר החוקים

¹³³ [תקנות הקרינה הבלתי מייננת 2009](#), המשרד להגנת הסביבה

¹³⁴ עפ"י ראיון עבודה עם ד"ר סטילאן גלברג ראש האגף למניעת רעש וקרינה.

¹³⁵ המשרד להגנת הסביבה, [חשיפה לקרינה אלקטרומגנטית בתדר רשת החשמל](#), המלצות המשרד

קרינה הן דרישות של החוק והתקנות, גם בבניין הייחוס, שכאמור עומד בדרישות החוק, היו מבצעים את אותן הבדיקות ונעזרים באותם אמצעי המיגון מפני הקרינה ולכן אין ברכיב זה עלות השקעה נוספת בגין בנייה ירוקה.

עם זאת חשוב לציין שלמרות שחוק הקרינה והתקנות השונות מחייבים לבצע בדיקות ומיגון בכל בניין מגורים שבו מתקני השנאה, משיחות עם אנשי מקצוע מתחום הקרינה, עולה כי ההטמעה של החוק והתקנות עלולה להיות לעיתים לוקה בחסר.¹³⁶ אם כך, יתרון נוסף של בניין בעל תקן ירוק על פני בניין קונבנציונלי, הוא שבבניין ירוק נושא הקרינה נבחן בקפידה לעמידה בתקן 5281 ע"י מכון התקנים, בעוד שבבניין קונבנציונלי הבחינה לעמידה בחוק ותקנות הקרינה, עלולה להיות לוקה בחסר. לכן, לא מן הנמנע שבהשוואה לבניין קונבנציונלי המצוי בשוק ואינו עומד בחוק ותקנות הקרינה, בוצעה בבניין 304 השקעה נוספת של 43,300 ₪, אך מהטעמים הנ"ל היא לא נכללה בחישוב הסופי כעלות נוספת בגין הבנייה הירוקה.

ו. תחבורה

בבניין נבנה חדר עגלות ואופניים בקומת הקרקע בגודל 15.3 מ"ר, על מנת לעודד הליכה ברגל ושימוש בתחבורה לא ממונעת. חדר שכזה מקובל גם בבנייה קונבנציונלית.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 304	סה"כ עלות בבניין 304	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
חדר אופניים ועגלות בקומת הקרקע	גודל החדר הוא 15.3 מ"ר בעלות 3500 ₪ למ"ר	$15.3 * 3500 = 53,550$	אין הכרח לבצע אך מקובל גם בבנייה קונבנציונלית	זהה לעלות בבניין 1
מתקן לאחסון אופניים		15,000	אין הכרח לבצע	0

¹³⁶ עם זאת נדרש נתון מחקרי אמפירי המאשש טיעון זה.

5. התרשמות המעריך - מערכות שונות

א. מערכת למניעת שיקוע אבנית

המים בישראל עשירים במינרלים (סידן ומגנזיום), ועל כן מתגבשת בהם אבנית קשה המזיקה לצנרת, לברזים ולגופי החימום. מערכת מניעת שיקוע אבנית משנה את מבנה התגבשות האבנית כך שהיא תהיה פריכה ותתגבש בצורת מחטים במקום בצורת קוביות. הדבר מונע נזקים לצנרת ופגיעה ביעילות גופי חימום. עפ"י הערכת היצרן המערכת תחסוך לבניין כולו כ 34,164 קוט"ש בשנה.¹³⁷

ב. מערכת סולארית

על גג הבניין הותקנה מערכת סולארית אשר תייצר כ- 25-28 קוט"ש ביממה אשר יופנו לשימוש בשטחים הציבוריים של הבניין (תאורה, מעלית ועוד). המערכת תייצר חשמל נקי ותחסוך שימוש בחשמל שמקורו בדלקים מחצביים. פורטל הדיירים בלובי הבניין מציג את ייצור החשמל הסולארי.

ג. הכנות לטעינת רכבים חשמליים

כלי רכב מונעי מצברים יעילים יותר מבחינה אנרגטית, אינם פולטים עשן, שקטים וחוסכים זיהום כתלות בדלקים המשמשים לייצור החשמל אשר טוען את מצברי הרכבים. בארץ, כמו במקומות שונים בעולם, גוברת ההתעניינות ברכבים חשמליים, ובניית התשתיות בארץ לרכבים שכאלו כבר החלה ע"י חברת Better Place. קבוצת חנן מור בשיתוף חברת Better Place ביצעו נקודות חשמל לטעינת רכבים חשמליים ל- 30% מכלל יחידות הדיור בבניין 304.

הרכיב הירוק- מערכות שונות	אופן חישוב העלות בבניין 304	סה"כ עלות בבניין 304	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
מערכת למניעת שיקוע אבנית	עלות כוללת של המערכת	12,000	אין הכרח לבצע	0
מערכת סולארית	עלות כוללת של המערכת	54,000	אין הכרח לבצע	0
נקודות חשמל לטעינת רכבים חשמליים	עלות כוללת של הנקודות	15,000	אין הכרח לבצע	0

¹³⁷ חישוב זה המובא בדו"ח היזם מתבסס על ההנחה ש- 6 מ"מ אבנית גורמים לבזבז של 40% מהאנרגיה הנצרכת לחימום מים. עפ"י החישוב משפחה בת 4 נפשות משתמשת ב- 9 קוט"ש לחימום מים ביממה כלומר בשנה נחסכים: 9 קוט"ש X 365 ימים X 26 דירות X 40% חיסכון = 34,164 קוט"ש

ד. חסכון בחשמל בדירות המגורים

- שעון שבת לדוד חשמלי – שעון זה מהווה קוצב זמן המפעיל ומכבה את דוד החשמל וכך מאפשר גמישות וחיסכון בשעות הפעלתו. רכיב זה זהה בבנייה קונבנציונלית.
- מפסקי פיקוד מרכזי – בכניסה לכל דירה הותקנו שני מפסקי פיקוד מרכזי האחד לכיבוי והפעלה של התאורה והשני לכיבוי המזגנים בכל הדירה. מפסקים אלו מאפשרים כיבוי התאורה והמזגנים באופן קל ונוח לפני עזיבת הדירה. בנוסף בוצעה הכנה למערכת בית חכם המאפשרת שליטה מלאה מרחוק בהפעלת מערכות חשמליות בבית.

הרכיב הירוק פיקוד מרכזי והכנה לבית חכם	אופן חישוב העלות בבנין 304	סה"כ עלות בבנין 304	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
מפסקי פיקוד מרכזי לתאורה ומזגנים	1000 ₪ לדירה	$1000 * 26 = 26,000$	אין הכרח לבצע	0
הכנה למערכת בית חכם	800 ₪ לדירה	$800 * 26 = 20,800$	אין הכרח לבצע	0
סה"כ פיקוד מרכזי והכנה לבית חכם	1800 ₪ לדירה	46,800		0

ה. חסכון בחשמל בשטחים הציבוריים

- התקנת נורות LED ו- PL – נורות אלו חסכוניות בצריכת החשמל שלהן ובעלות אורך חיים גדול מאוד (10,000 שעות לנורת PL ו- 40,000 שעות לנורת LED) כך שהן חוסכות גם הוצאות תחזוקה. התקנות החדשות של משרד התשתיות באישור וועדת הכלכלה של הכנסת מחייבות החל מינואר 2012 שימוש בנורות חסכוניות גם בבנייה קונבנציונלית,¹³⁸ ובכל מקרה לגבי בניין 304 ההפרש בעלויות לעומת נורות ליבון רגילות הינו זניח.¹³⁹
- קוצב זמן – התאורה בלובי הכניסה ובחצר הבניין מנוהלת ע"י קוצב זמן החוסך בזמן הפעלת הנורות. רכיב זה זהה לבנייה קונבנציונלית.
- קוצב זמן – התאורה בלובים הקומתיים ובחדרי המדרגות תבוצע ע"י קוצב זמן אשר יחסוך בזמן הפעלת הנורות. רכיב זה זהה לבנייה קונבנציונלית.
- גלאי נפח¹⁴⁰ – בכל קומה הותקן גלאי נפח אשר מדליק ומכבה את התאורה לפי חיישני תנועה וכך חוסך בזמן הפעלת הנורות. בנוסף הותקנו 3 גלאים כאלו בחניון. אין הכרח ליישם רכיב זה בבנייה קונבנציונלית.
- גופי תאורה חסכוניים בגינה – בגינה הותקנו גופי תאורה חסכוניים ובעלי אורך חיים ממושך. אין הבדל בעלות של רכיבים דומים המיושמים בבנייה קונבנציונלית.
- בגינה יושמו מעגלי תאורה המחוברים לקוצב זמן – עלות יישום מעגלים אלו הינה זניחה.

¹³⁸ איתי טרילניק, 2011, [נורות ליבון ייאסרו למכירה – המשק יחסוך מיליארד קוט"ש בשנה](#), דה-מרקר 13.12.11

¹³⁹ בבניין יש 12 נורות PL בכל קומה ועוד 25 בחניון. בנוסף יש 25 נורות LED. מדובר על השקעה נוספת של פחות מ 2000 ₪ לכלל הבניין

¹⁴⁰ מערכת זו לא נכללה בדו"ח ההתאמה לתקן 5281 אלא פורטה בראיון עם היזם

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבנין 304	סה"כ עלות בבנין 304	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
גלאי נפח להדלקת תאורה	גלאי בכל קומה ועוד 3 בחניון בעלות 500 ש"ח כ"א	$10 * 500 = 5000$	אין הכרח לבצע	0

ו. הכנה לווטומטר

בכל דירה בוצעה הכנה להתקנת ווטומטר (שעון חשמל דיגיטלי חכם), אשר מציג בזמן אמת את צריכת החשמל הביתית, ומתרגם אותה לעלות כספית מיידית ולעלות מצטברת. זאת בשונה משעון החשמל של חברת חשמל שאינו מאפשר מעקב אחרי צריכת החשמל בזמן אמת. הוטומטר עשוי להביא לחסכון נוסף בצריכת החשמל ע"י העלאת המודעות בקרב הדיירים.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבנין 304	סה"כ עלות בבנין 304	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
הכנה לווטומטר	600 ש"ח לדירה	$600 * 26 = 15,600$	אין הכרח לבצע	0

ז. חוברת מדריך לדייר

היזם הפיק חוברת מדריך לדייר¹⁴¹ המסבירה את התפקוד הירוק של הדירות. עלות החוברת כללה מחקר ואיסוף חומרים מהעולם. רכיב זה אינו מיושם בבנייה קונבנציונלית.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבנין 1	סה"כ עלות בבנין 1	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
חוברת מדריך לדייר	40000 לכל 5 הבניינים בפרויקט	$40,000/5 = 8000$	אין הכרח לבצע	0

ח. עלויות נוספות

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבנין 304	סה"כ עלות בבנין 304	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
עלות הגשה למכון התקנים	1000 ש"ח לדירה	$1000 * 26 = 26000$	אין הכרח לבצע	0
אגרה למכון התקנים	25000 לבנין	25000	אין הכרח לבצע	0

¹⁴¹ רכיב זה לא צויין בדו"ח ההתאמה לתקן ירוק אלא בשיחות עם היזם

ג. סיכום השוואת עלויות

להלן סיכום העלויות הנ"ל של האמצעים הירוקים אשר הוטמעו בבניין 304 והינם שונים בעלותם מבנייה קונבנציונלית, והשוואתן להערכת עלויות של בבניין ייחוס:¹⁴²

סעיף	נושא	עלות בבניין 304	עלות אופציה בבניין א	עלות ההשקעה הנוספת ב 304 לעומת בניין הייחוס באופציה א	עלות אופציה בבניין ב	עלות ההשקעה הנוספת ב 304 לעומת בניין הייחוס באופציה ב
1	תכנון וניתוח ביו אקלימי	39,000	-	39,000	-	39,000
2	בדיקת דירוג דירות אנרגטי	11,000	-	11,000	-	11,000
3	זיגוג	153,673	66,845	86,828	66,845	86,828
4	קירות חיצוניים	628,353	501,990	126,363	267,266	361,087
5	תקרות עליונות	14,444	14,067	377	7,662	6,782
6	רצפה מעל חלל פתוח וסגור	6,465	4,024	2,441	3,256	3,209
7	חלונות בחדר המדרגות	61,517	6,534	54,983	6,534	54,983
8	פתח איוורור במרפסות	71,500	45,500	26,000	45,500	26,000
9	צוהר בדלת מרפסות שירות	7,800	-	7,800	-	7,800
10	הכנה למאווררי תקרה	20,800	-	20,800	-	20,800
11	מפוח נוסף בממ"ד	15,600	-	15,600	-	15,600
12	פיתוח גינה חסכונית במים	190,400	170,000	20,400	170,000	20,400
13	מערכת לשימוש במי עיבי מזגנים	30,000	-	30,000	-	30,000
14	חדר אשפה גדול	72,000	50,000	22,000	50,000	22,000
15	מתקן לאחסון אופניים	15,000	-	15,000	-	15,000
16	מערכת למניעת שיקוע אבנית	12,000	-	12,000	-	12,000
17	מערכת סולארית	54,000	-	54,000	-	54,000
18	נקודות חשמל לטעינת רכבים חשמליים	15,000	-	15,000	-	15,000
19	פיקוד מרכזי והכנה לבית חכם	46,800	-	46,800	-	46,800
20	גלאי נפח לתאורה	5,000	-	5,000	-	5,000
21	הכנה לוואטומטר	15,600	-	15,600	-	15,600
22	חוברת מדריך לדייר	8,000	-	8,000	-	8,000
23	הגשה למכון התקנים	26,000	-	26,000	-	26,000
24	אגרה למכון התקנים	25,000	-	25,000	-	25,000
סה"כ		1,544,952	858,961	685,991	617,063	927,889
סה"כ לדירה		59,421	33,037	26,384	23,733	35,688
שיעור ההשקעה (באחוזים מעלות הבניין)				104.08%		105.599%
סה"כ עלות רכיבי אנרגיה (סעיפים 1-11 הנ"ל)		1,030,152	638,961	391,191	397,063	633,089
סה"כ עלות רכיבי קרקע (סעיף 12)		190,400	170,000	20,400	170,000	20,400
סה"כ עלות רכיבי המים (סעיפים 13)		30,000	-	30,000	-	30,000
סה"כ עלות נושאים סביבתיים אחרים (סעיפים 14-15)		87,000	50,000	37,000	50,000	37,000
סה"כ עלות רכיבי התרשמות מעריך (סעיפים 16-22)		156,400	-	156,400	-	156,400
סה"כ עלות רכיבים נוספים (סעיפים 23-24)		51,000	-	51,000	-	51,000
סה"כ עלות רכיבים פאסיביים (כולל גינה) (סעיפים 1-9,12,14,15,22)		1,279,152	858,961	420,191	617,063	662,089
סה"כ עלות מערכות (סעיפים 10,11,13,16-21)		214,800	-	214,800	-	214,800
סה"כ עלות רכיבים אחרים (סעיפים 23-24)		51,000	-	51,000	-	51,000

טבלה 3-4. סיכום השוואת עלויות בין בניין 304 ובניין הייחוס

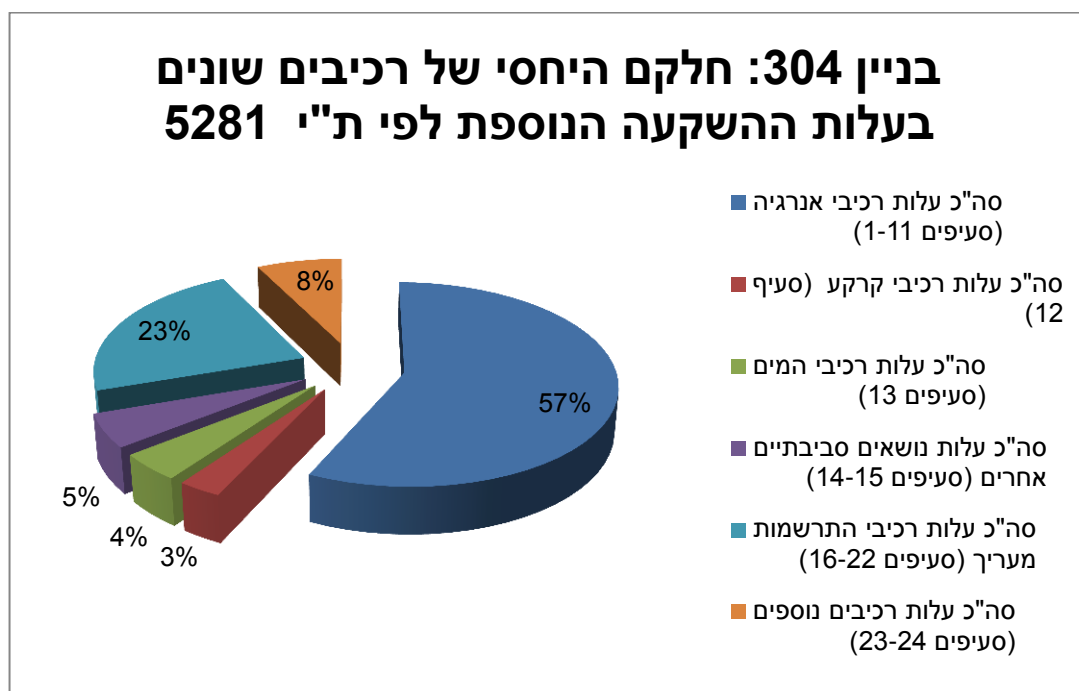
¹⁴² העלויות הן בש"ח של 2011 ללא מע"מ

ד. ניתוח הממצאים באופן פרטני

מהממצאים עולה כי סה"כ עלות ההשקעה הנוספת בגין רכיבים ירוקים בבנין 304 לעומת בנין הייחוס באופציה א' הינה 685,991 ₪ (26,384 ₪ לדירה) ובאופציה ב' הינה 927,889 ₪ (35,688 ₪ ש"ח לדירה). העלות הכוללת של בנין 304 הינה 17.5 מיליון ₪.¹⁴³ אי לכך העלות הנוספת של ההשקעה מהווה 4.1%¹⁴⁴ מעלות הבנין באופציה א' ו- 5.6% באופציה ב'. עלות זו תואמת את משרע הממצאים המובאים בסקירת הספרות.

מתוך סך עלות ההשקעה הנוספת באופציה א',¹⁴⁵ סעיפי ההשקעה העיקריים הם: קירות חיצוניים 18.4% וזיגוג 12.7%.

מניתוח חלקם היחסי של רכיבים שונים (לפי הסעיפים בתקן 5281) בעלות ההשקעה הנוספת בבנין 304 לעומת בנין הייחוס ניתן לראות בבירור שההשקעה ברכיבי האנרגיה היא המשמעותית ביותר ומגיעה ל 57% מעלות ההשקעה הנוספת הכוללת:¹⁴⁶



איור 4-4. חלקם היחסי של רכיבים שונים בעלות ההשקעה הנוספת לפי ת"י 5281

¹⁴³ לא כולל מע"מ, רווחי יזם, אגרות, מיסים ועלות קרקע

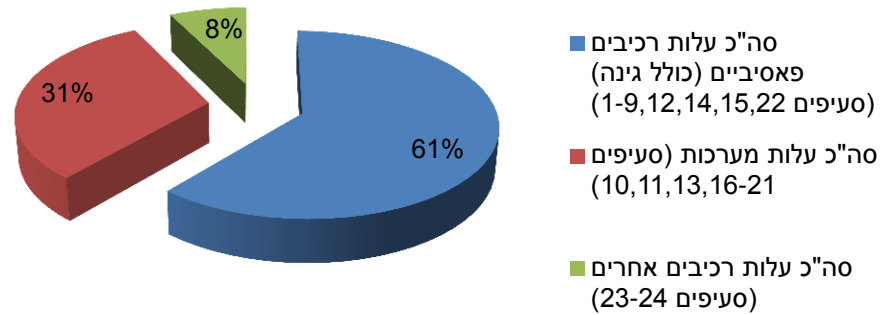
¹⁴⁴ עפ"י החישוב: $4.08\% = (17,500,000 - 685,991) / 17,500,000$

¹⁴⁵ מכאן ואילך הניתוח מתייחס לעלות ההשקעה הנוספת ב 304 לעומת בנין הייחוס באופציה א בלבד (העמודה המודגשת ברקע אפור) היות ואופציה זו עונה לדרישות תקן 1045 (בידוד תרמי של בניינים) בגירסתו המעודכנת מספטמבר 2011, אשר מרגע כניסתה לתוקף מחייבת כל בנין חדש. כמו כן, אופציה א הינה בסטנדרט בנייה המתאים לסטנדרט של בניינים קונבנציונליים חדשים הדומים באופן כללי לבנין 304 ולכן היא יותר מתאימה להשוואה מאשר אופציה ב

¹⁴⁶ הסעיפים במקרא מתייחסים לסעיפים בטבלה 3-4 הנ"ל (סיכום השוואת עלויות בין בנין 304 ובנייני הייחוס)

מהשוואת ההשקעה ברכיבים פאסיביים לעומת מערכות מתוך סך ההשקעה הנוספת עולה שההשקעה ברכיבים הפאסיביים הינה המשמעותית ביותר ומגיעה ל 61%

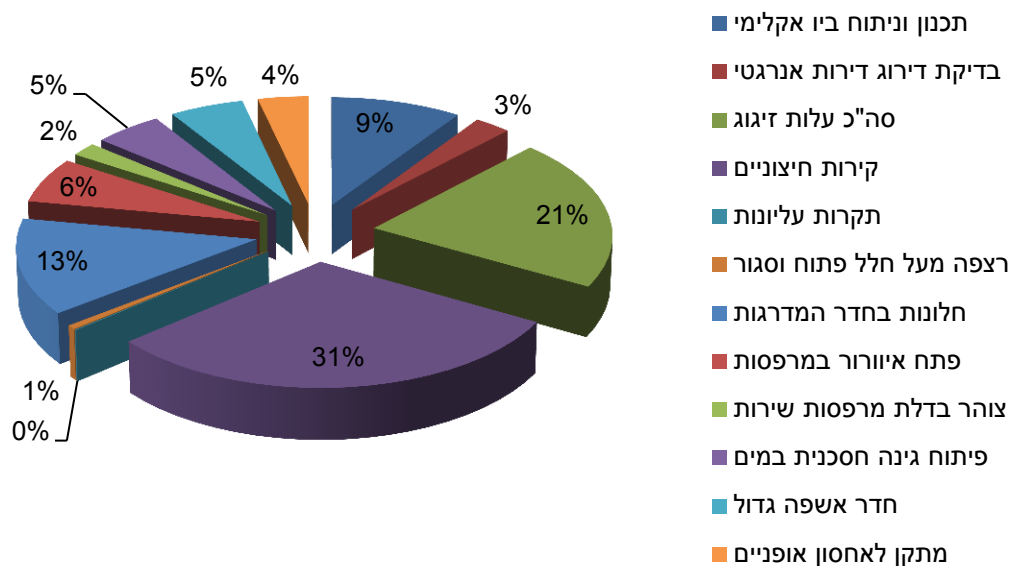
בניין 304: חלקם היחסי של רכיבים פאסיביים ומערכות בעלות ההשקעה הנוספת



איור 4-5. חלקם היחסי של רכיבים פאסיביים ומערכות בעלות ההשקעה הנוספת

מניתוח ההשקעות ברכיבים פאסיביים מתוך כלל ההשקעה ברכיבים פאסיביים עולה כי ההשקעות הגדולות ביותר הינן בקירות חיצוניים (31%) וזיגוג (21%).

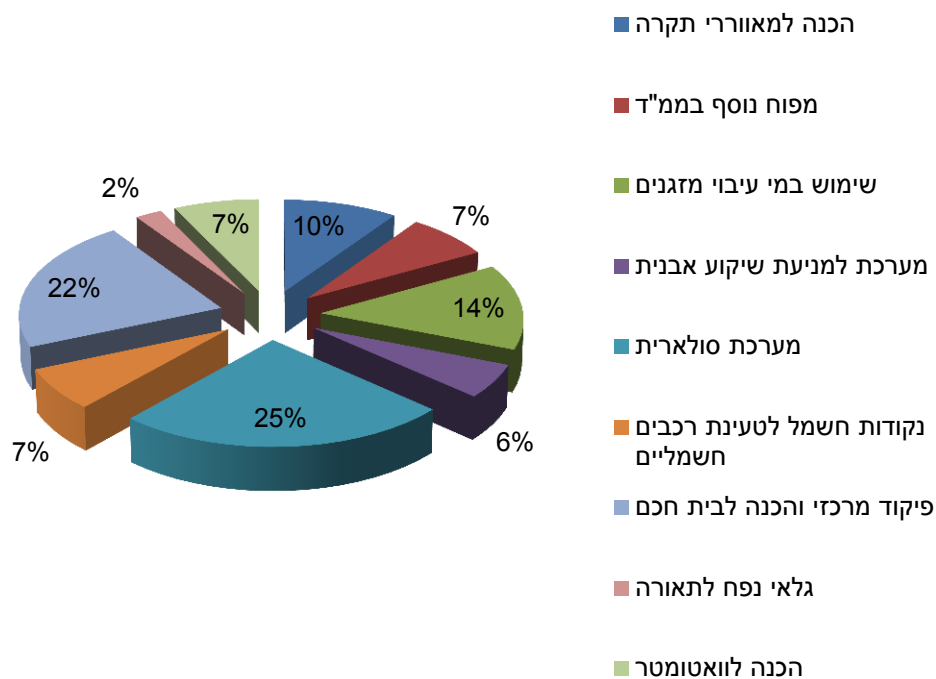
בניין 304: חלקם היחסי של רכיבים פאסיביים מתוך סך ההשקעה ברכיבים פאסיביים



איור 4-6. חלקם היחסי של רכיבים פאסיביים מתוך סך ההשקעה ברכיבים פאסיביים

מניתוח ההשקעות במערכות מתוך כלל ההשקעה במערכות עולה כי ההשקעות הגדולות ביותר הן מערכת סולארית (25%), פיקוד מרכזי והכנה לבית חכם (22%) ושימוש במי עיבוי מזגנים (14%).

בניין 304: חלקם היחסי של מערכות מתוך סך ההשקעה במערכות



איור 4-7. חלקם היחסי של מערכות מתוך סך ההשקעה במערכות

ניתוח ההשקעה הנדרשת בבנייני הייחוס בגין עדכון תקן 1045 (בידוד תרמי של בניינים)

אחד ההבדלים בין שתי האופציות של בנייני הייחוס הינו שאופציה א' עונה לדרישות תקן 1045¹⁴⁷ (בידוד תרמי של בניינים) בגרסתו המעודכנת מספטמבר 2011, ואילו אופציה ב' עונה לדרישות תקן 1045 בגרסתו משנת 2003 (להרחבה על בחירה באופציות אלו ראו תחילת סעיף ב בפרק 4). על

¹⁴⁷ מעטפת בנייני הייחוס נבחרה כך שבכפוף ליחס זיגוג בקיר הנתון במבנה הייחוס, סביר שהיא עומדת בדרישות החוק ביניהן עמידה בתקן 1045 לבידוד תרמי, הגם שחישובים תרמיים מפורטים לעמידה בתקן לא נכללו במסגרת מחקר זה. אופן חישוב הבידוד לבנייני הייחוס מפורט בנספח א למחקר

מנת לבחון את ההשקעה הנדרשת בבנייני הייחוס בגין עדכון התקן, בטבלה להלן מרוכזות עלויות רכיבי הבידוד השונים אשר יושמו בשני בנייני הייחוס:

אופציה ב				אופציה א				רכיב הבניין
עלות	אופן חישוב העלות	בידוד	התנגדות תרמית נדרשת לפי תקן 1045 ¹⁴⁹ (2003)	עלות	אופן חישוב העלות	בידוד	התנגדות תרמית נדרשת לפי תקן 1045 ¹⁴⁸ (2011)	
42,236	זהה לאופציה א	פמ"ק בעובי 3 ס"מ	0.65	12.2*3462=42,236	עלות קוב 340 ש' כלומר 10.2 ש' למ"ר ועוד התקנה 2 ש' למ"ר. שטח קיר חיצוני 3462 מ"ר	פוליסטירן מוקצף קשיח (פמ"ק) בעובי 3 ס"מ	0.70	קיר חיצוני
	הבדל עלויות זניח בין האופציות	טיח תרמי 3 ס"מ 400	0.35		הבדל עלויות זניח בין האופציות	טיח תרמי 200 בעובי 3 ס"מ	0.55	קיר הפרדה בין דירה לחלל שאינו מחומם/ מקורר
12.2*207=2,525	עלות 10.2 ש' למ"ר. עלות התקנה 2 ש' למ"ר. שטח גג עליון 207 מ"ר	פמ"ק בעובי 3 ס"מ	0.80	22.4*207=4,637	עלות 20.4 ש' למ"ר. עלות התקנה: 2 ש' למ"ר. שטח גג עליון 207 מ"ר	פמ"ק בעובי 6 ס"מ	1.50	תקרה עליונה
12.2*421=5,136	עלות 10.2 ש' למ"ר. עלות התקנה 2 ש' למ"ר. שטח גג מרוצף 421 מ"ר	פמ"ק בעובי 3 ס"מ	0.80	22.4*421=9,430	עלות 20.4 ש' למ"ר. עלות התקנה: 2 ש' למ"ר. שטח גג מרוצף 421 מ"ר	פמ"ק בעובי 6 ס"מ	1.50	גג מרוצף מעל דירה
8.8*226=1,989	עלות 6.8 ש' למ"ר. עלות התקנה 2 ש' למ"ר. שטח: 226 מ"ר	פמ"ק בעובי 2 ס"מ	0.50	12.2*226=2,757	עלות 10.2 ש' למ"ר. עלות התקנה 2 ש' למ"ר. שטח: 226 מ"ר	פמ"ק בעובי 3 ס"מ	0.75	רצפה מעל חללים פתוחים
1,267	זהה לאופציה א	פמ"ק בעובי 2 ס"מ	0.35	8.8*144=1,267	עלות 6.8 ש' למ"ר. עלות התקנה 2 ש' למ"ר. שטח 144 מ"ר	פמ"ק בעובי 2 ס"מ	0.50	רצפה מעל חלל סגור שאינו מחומם/מקורר
53,154	סה"כ לבניין			60,328	סה"כ לבניין			
2,044	סה"כ לדירה			2,320	סה"כ לדירה			

טבלה 4-4. השוואת עלויות רכיבי בידוד בין שני בנייני הייחוס

מההשוואה הנ"ל עולה שסך ההבדל בהשקעה ברכיבי בידוד בין שני בנייני הייחוס הינה 7,174 ש' (276 ש' לדירה). אין הבדל בהשקעה בבידוד הקירות החיצוניים של שני בנייני הייחוס היות וההבדל בדרישת תקן 1045 בין שתי הגרסאות הינו זניח. עיקר ההבדלים נובעים מההשקעה בבידוד תקרה עליונה וגג מרוצף, רכיבים אשר בהם הייתה עלייה משמעותית בדרישת התקן עקב עדכנו. אולם,

¹⁴⁸ במ"ר*ק' לווט
¹⁴⁹ במ"ר*ק' לווט



היות והשטחים של רכיבים אלו בבנייה רוויה, כמו גם בבנייני הייחוס, הינם קטנים ביחס לשטח המעטפת של הבניין, המשמעות הכלכלית של העלייה בדרישות התקן הינה אלפי שקלים בודדים בלבד לבניין כולו.

5. ניתוח עלויות של רכיבים ירוקים בבניין 1 בפרויקט נתניה מזרח

והשוואתן לעלויות של בניין ייחוס

א. הקדמה¹⁵⁰

בניין 1 נבנה כחלק מפרויקט בנייה חדש בנתניה מזרח על-ידי קבוצת שיכון ובינוי נדל"ן. הפרויקט נמצא בדרום שכונת קריית רבין ובניין 1 נבנה בקצה הצפון מערבי של מתחם הפרויקט, בסמוך ליער הסרג'נטים שהוכרז כפארק לשימור ונמצא מצפון מערב לבניין. משאר צדדיו הבניין מוקף בנייני מגורים, כאשר מצידו המזרחי נבנים בניינים 2 ו-3 והזיהם לבניין 1 כמעט לגמרי, אף הם בניינים ירוקים הנבנים ע"י אותו היזם. קבוצת שיכון ובינוי נדל"ן שכרה את שירותיה של חברת ESD כיועצים לבנייה ירוקה, וכן הפרויקט לווה בצוות יועצים רב תחומי.



איור 1-5. אזור הפרויקט¹⁵¹

הבניין מתנשא לגובה 73 מ', יש בו 76 דירות ב- 20 קומות ושני מפלסי חניה. תמהיל הדירות הינו:¹⁵²

- 32 דירות בנות 4 חדרים בשטח של כ- 110 מ"ר לדירה
- 34 דירות בנות 5 חדרים בשטח של כ- 125 מ"ר לדירה
- 4 דירות בנות 4 חדרים בשטח של כ- 120 מ"ר לדירה
- 4 דירות בנות 5 חדרים בשטח של כ- 130 מ"ר לדירה
- 2 דירות פנטהאוס בנות 5 חדרים בשטח של כ- 180 מ"ר לדירה

¹⁵⁰ חלק זה מבוסס ברובו על דו"ח ההתאמה לתקן 5281 (יוזמות 2009) אשר הועבר ע"י שיכון ובינוי נדל"ן למכון התקנים בעבור בניינים 1-3 בנתניה מזרח

¹⁵¹ יוזמות 2009, נתניה מזרח בניינים 1-3 אוגדן הגשות לת"י 5281 לבנייה ירוקה, יוזמות- תכנון וניהול סביבתי בע"מ,

¹⁵² ע"מ 11 השטח המצוין הינו שטח ברוטו ללא שטח מרפסות. לפירוט נוסף ראה ע"מ 12 בדו"ח התאמה לתקן 5281 של הבניין (יוזמות 2009)

הבניין נבנה במהלך 2009-2011, קיבל תו ירוק לפי תקן 5281 (גרסת 2005) ¹⁵³ וזכה לדירוג מצטיין על צבירת 75.2 נקודות עפ"י הפירוט הנ"ל: ¹⁵⁴

פרק	סה"כ ניקוד מוענק
אנרגיה	24.5
קרקע	11
מים	12
נושאים סביבתיים אחרים	23
התרשמות מעריך	4.7
סה"כ ניקוד לבניין 1	75.2

טבלה 1-5. פירוט ניקוד בניין 1 לפי תקן 5281

¹⁵³ התקן עבר עדכון בספטמבר 2011

¹⁵⁴ מכון התקנים הישראלי 2012, טבלת ניקוד לפרויקט פיור בניינים 1-3 נתניה, אגף ההסמכה

ב. פירוט הרכיבים הירוקים בבניין 1 לפי תקן 5281, עלותם והשוואה לעלות

בבנין ייחוס

בפרק זה יפורטו הרכיבים הירוקים אשר ייושמו בבנין 1. עיקר הפירוט בוצע עפ"י אוגדן ההגשות לתקן 5281 אשר נכתב בפברואר 2009 (יוזמות 2009), וחלקו עפ"י ראיונות עם הקבלן המבצע מר סאפי אלשייך מחברת סולל בונה (השייכת לקבוצת שיכון ובינוי) וכן עם מר אריק פינצי מנהל מרחב צפון של קבוצת שיכון ובינוי. הרכיבים הירוקים אשר הוטמעו בבנין 1 נקבעו לפי התקן הישראלי לבנייה ירוקה 5281. בנין 1 נבנה במהלך 2009-2011 וקיבל הסמכה כבנין ירוק לפי תקן זה בגרסתו משנת 2005.¹⁵⁵ הערכת העלויות בבנייה קונבנציונלית בוצעה בעזרת חברת אלפא פריזמה.¹⁵⁶

בתחילת כל סעיף מובא תיאור של הרכיב הירוק אשר יושם בבנין והשוואתו לרכיב דומה בבנין הייחוס. מיד לאחר מכן מופיעה טבלה המרכזת את עלויות הבנייה בבנין 1,¹⁵⁷ ומשווה אותן לעלויות בנין הייחוס. למען הקלה על הקורא, הרכיבים השונים סודרו על-פי מבנה הפרקים והסעיפים של תקן 5281.

כאמור, המתודולוגיה שנבחרה לצורך מחקר זה לבחינת העלויות של בנייה ירוקה והשוואתן לעלויות של בנין קונבנציונלי הינה בחינה של העלויות בפועל של רכיבים ירוקים אשר הוטמעו בבנין 1 (ושונים בעלותם מרכיבים בבנייה קונבנציונלית)¹⁵⁸ והשוואתן להערכת העלויות בבנין ייחוס תיאורטי הנבנה בבנייה קונבנציונלית ועומד בדרישות החוק ותקנות הבנייה. יתרונותיה של מתודולוגיה זו פורטו בפרק 3: שיטות המחקר. בנין הייחוס הינו בנין הזהה לבנין 1 אך הינו ללא הרכיבים של בנייה ירוקה המיושמים בבנין 1. למעשה, בדומה לבנין הייחוס של בנין 304, גם לבנין 1 בוצעה השוואה לשתי אופציות של בנין ייחוס תיאורטיים, כפי שמוסבר בתחילת פרק 4.

1. אנרגיה

א. תכנון

ניתוח אקלימי – בכדי להתאים את הבנין לאקלים המקומי, בוצע ניתוח אקלימי. הניתוח האקלימי כולל את משרע הטמפרטורה ולחות יחסית, משטר רוחות, וניתוח תנועת השמש. בעזרת הניתוח האקלימי נבנתה אסטרטגיה שמטרתה להעניק נוחות תרמית בחללי הפנים של הבנין. אסטרטגיה זו הנחתה חלק מהרכיבים הירוקים שיושמו בבנין:

¹⁵⁵ התקן עבר עדכון בספטמבר 2011

¹⁵⁶ חברה לניהול פרויקטים בבנייה, בעיקר ע"י ראיונות עם מנכ"ל החברה מר משה בן חמו

¹⁵⁷ נתוני העלויות השונים התבססו אף הם על ראיונות עם מר סאפי אלשייך ומר אריק פינצי וכן על שרטוטי הבנין. בנוסף,

נתוני העלויות נבדקו ע"י מנכ"ל חברת אלפא פריזמה, אנשי מקצוע שונים החברים במועצה הישראלית לבנייה ירוקה,

ובמידת הצורך הושוּלו למחירי שוק של ספקים שונים מתחום הבנייה.

¹⁵⁸ בחישוב נלקחו בחשבון רק אותם רכיבים ירוקים אשר עלותם שונה מרכיבים בבנייה רגילה. כך למשל לא נלקח בחשבון הבטון של הרצפות, אשר משמש כמסה תרמית, היות ומדובר באותו בטון (עובי ועלות) אשר היה משמש בבנין קונבנציונלי

- למעט העונה החמה (חודשים יוני-ספטמבר), ברוב השנה המיקרו אקלים צפוי להיות נוח לאדם ע"י הורדת הלחות היחסית באמצעות פתחים רבים אשר יאפשרו אוורור טבעי וכן באמצעות אוורור מאולץ.
- בתקופה הקרה (חודשים דצמבר-מרץ) יש צורך בקליטת אנרגיית השמש באופן פאסיבי לחימום טבעי של חללים פנימיים.

ניתוח הצללות - לבנין בוצע ניתוח הצללות מפורט אשר התחשב במיקום הבנין, ממדי הבנין (גובה ורוחב), והשפעה הדדית של הבנין והבניינים הסמוכים לו, וכל זאת בעונות השנה השונות. מהניתוח עלה שבפרויקט נתניה מזרח בניינים 1-3 מטילים צל על זה וגם חשופים להצללה מן הבינו העתידי הצפוי במקום. בנוסף, בעונת החורף בניינים 1-3 מטילים צל על המבנים הנמוכים מצפון.

ניתוח העמדת מבנה - מתוך שיקולים של התאמה אדריכלית לרחוב בו הבניינים פונים לכיוון צפון, הפניית מבט לחורשת הסרג'נטים הנמצאת מצפון מערב ומשיקולי היבט אקלימי, בנין 1 תוכנן ומוצב כך שהחזיתות העיקריות פונות לכיוון צפון ודרום בזווית הטיה של 19 מעלות לכיוון מערב ביחס לצפון.



איור 2-5. תרשים העמדה של הבניינים בפרויקט ¹⁵⁹

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבנין 1	סה"כ עלות בבנין 1	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
ניתוחי אקלים והעמדת מבנה	¹⁶⁰ 50,000	50,000	אין הכרח לבצע	0
ניתוח הצללות	10,000	10,000	אין הכרח לבצע	0

¹⁵⁹ יוזמות 2009 ע"מ 11

¹⁶⁰ עלות זו הינה עלות כוללת של ליווי יועצים ירוקים. בעלות נכללים: ניתוח אקלימי, ניתוח העמדת מבנה, כתיבת תוכנית למניעת מפגעים סביבתיים באתר הבנייה, וכתיבת דו"ח ההגשה למכון התקנים

ב. בידוד תרמי

בדיקת דירוג דירות לפי צריכת אנרגיה

בבדיקה מרשמית עפ"י תקן 5282¹⁶¹ (דירוג בניינים לפי צריכת אנרגיה) חלק 1 נבדקו הדירות בבניין לפי תכנון אשר לפיו, בין השאר, הבידוד בקירות החיצוניים בוצע ע"י לוח פוליסטירן מוקצף בעובי 2 ס"מ וע"י צמר זכוכית בעובי 2.5 ס"מ בממ"דים. עפ"י תכנון זה נמצא שכמחצית מהדירות אינן עומדות בקריטריונים לקבלת דרגה 1 לפי שיטה מרשמית. אי לכך, רמת הבידוד בתכנון הסופי שופרה והינה כמפורט בחתכי הקירות המפורטים בהמשך.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 1	סה"כ עלות בבניין 1	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
בדיקה מרשמית לדירוג דירות לפי צריכת אנרגיה עפ"י תקן 5282	נבדקו 5 טיפוסים דירות שונים בעלות 5000 ₪ כ"א	$5 * 5000 = 25,000$	אין הכרח לבצע	0
בדיקה תפקודית לדירוג דירות לפי צריכת אנרגיה עפ"י תקן 5282	נבדקו 2 טיפוסים דירות שונים בעלות 5000 ₪ כ"א	$2 * 5000 = 10,000$	אין הכרח לבצע	0

חלונות ורכיבים

כל חלון מורכב (ועל כן עלותו מושפעת) ממספר לא מבוטל של רכיבים ובניהם: תריס (רפפות), ארגז תריס, מנוע תריס, זגוגיות, פרופיל אלומיניום, רשתות יתושים, ידיות, צירים, צבע ועוד. מחקר זה מתחשב רק בעלותם של רכיבי הבנייה הירוקים כלומר כאלו התורמים לעמידת הבניין בתקן 5281. מתוך כל רכיבי החלונות הנ"ל, רק הזגוגיות ובידוד ארגז התריס (ראה סעיף הבא) תורמים לעמידתו של הבניין בתקן בנייה ירוקה כיוון שהם משפיעים על רמת הבידוד התרמית והאקוסטית של החלון. אומנם קיימים גם פרופילי אלומיניום בעלי נתקים תרמיים המבודדים ויקרים יותר מפרופילים רגילים, אך לא נעשה שימוש בפרופילים מסוג זה בבניין 1. בנוסף, כיום פרופיל אלומיניום מסוים מתאים לטווח גדול של עובי זגוגיות, ולכן בנייה ירוקה בה מיושמות זגוגיות עבות (למשל זגוגית בידודית¹⁶² 6-12-6), אינה מחייבת שימוש בפרופילים מיוחדים או יקרים יותר, וניתן להשתמש בפרופילים הנפוצים בבנייה קונבנציונלית. לסיכום, בהשוואה בין עלותו של חלון מבודד (תרמית ואקוסטית) לחלון קונבנציונלי, כיוון שאין הבדל הכרחי בין רכיבי החלון השונים (פרט לזגוגיות), ואין הבדל בעלות העבודה או ההובלה הנדרשות, ההבדל בעלותם של שני החלונות מתבטא בהבדל עלות הזגוגיות בלבד.¹⁶³ לכן, לצורך חישוב עלות ההשקעה הנוספת שבוצעה בבניין 1 לעומת בניין קונבנציונלי, חושבו העלויות של הזגוגיות בלבד בכל אחד מהבניינים כמפורט להלן.

בבניין 1 מפרט הזגוגיות הינו: בכל חלון בעל שטח זיגוג גדול מ 1.5 מ"ר הותקנה זגוגית בידודית 6-12-6 בפועל רק הוויטריות הן בעלות שטח זיגוג הגדול מ 1.5 מ"ר, ובהן הותקנה זגוגית 6-12-6

¹⁶¹ התקן עבר עדכון בספטמבר 2011 אך הבניין קיבל הסמכה לפי התקן משנת 2005 בו היו רק 2 דרגות דירוג זגוגית הבנייה משני לוחות זכוכית ובניהם שכבת אוויר. משפרת בצורה משמעותית את הבידוד התרמי של החלון מסקנה זו מבוססת על ראיונות עבודה עם מספר אנשי מקצוע שונים בתחום האלומיניום והחלונות

6 מחוסמת משני הצדדים. בשאר חלונות הבניין שטח הזיגוג קטן מ 1.5 מ"ר ובהם הותקנה זגוגית בודדת (מונוליטית) בעובי 5 מ"מ, פרט לחלונות חדרי שירותים ואמבטיה אשר בהם הותקנה זגוגית בטחון 3-0.76-3 מט חלבי.^{165 164}

בבנין הייחוס מפרט הזגוגיות הינו: במפתחים גדולים מ 2 מ"ר נעשה שימוש בזכוכית בטחון (רבודה 4-0.76-4). במפתחים קטנים יותר נעשה שימוש בזכוכית בודדת (מונוליטית) בעובי 5 מ"מ. בחלונות חדרי שירותים ואמבטיה הותקנה זגוגית בטחון 3-0.76-3 מט חלבי.

מחיר הזגוגיות לחישוב העלויות בבנין 1 ובבנין הייחוס מתבסס על ממוצע של 3 הצעות מחיר אשר התקבלו מחברות לייצור זכוכית וחלונות. המחיר שהתקבל הינו מחיר למ"ר זכוכית לפי מידה, ללא מע"מ אשר אליו נוסף רווח קבלן אלומיניום בשיעור 30% ורווח קבלן בנין בשיעור 17%. המחיר אינו כולל עלות הובלה והתקנה היות וההבדל בעלויות אלו בין חלון בעל זיגוג מבודד לבין חלון בעל זיגוג רגיל הינו זניח. למעשה, רק זיגוג הוויטרינות שונה בין שני הבניינים ולכן המחיר הסופי של הזגוגיות הוכפל בשטח הזיגוג של הוויטרינות בבנין 1. להרחבה נוספת על אופן החישוב של רכיב הזגוגיות ראה נספח א.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבנין 1	סה"כ עלות בבנין 1	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
זגוגיות	כמוסבר למעלה להרחבה-ראו נספח א	125,566	כמוסבר למעלה להרחבה-ראו נספח א	77,233

יש לציין שאופן תמחור עלות הזגוגיות אינו מתבסס על העלות בפועל של היזם, כפי שנעשה לגבי שאר רכיבי הבנייה הירוקים, היות ועלות זו כוללת את כל רכיבי החלונות. לשם השוואה, העלות של וויטרינה בבנין 1 ליזם (הכוללת תריס, מנוע תריס, זיגוג, אלומיניום, ארגז תריס, הובלה והתקנה) הינה 6,700 ליחידה כלומר 522,600 ₪ לבנין כולו.

בידוד ארגז תריס

הרכיב השני בחלונות פרט לזגוגיות, המשפיע על רמת הבידוד של החלון הוא בידוד ארגז התריס. בבנין 1 בכל חלונות הדירה ארגז התריס בודד באמצעות לוח פוליסטירן מוקצף קשיח (פמ"ק)¹⁶⁶ בעובי 2 ס"מ.

בידוד ארגז תריס מקובל בבנייה קונבנציונלית ולכן בבנין הייחוס נקבע שארגזי התריסים הינם מבודדים.¹⁶⁷ אי לכך אין למרכיב זה השפעה של עלויות בנייה ירוקה.

¹⁶⁴ נתונים אלו מבוססים על דו"ח ההגשה למכון התקנים וראיונות עבודה עם מר סאפי אלישיך וקבלן האלומיניום של הבנין מר אמנון אברמוב מחברת תדמית אלומיניום

¹⁶⁵ חלונות הממ"ד לא נכללים בחישוב בסעיף זה היות והם זהים בבנין 1 ובבנין הייחוס

¹⁶⁶ חומר מבודד העשוי מפוליסטירן מוקצף ("קלקר") קשיח ובא במספר משקלים מרחביים (ק"ג לקוב). במידה ולא מצוין אחרת הכוונה ללוחות במשקל מרחבי של 30 ק"ג לקוב כדוגמת 30F

¹⁶⁷ עלות תוספת לבידוד ארגז התריס מוערכת ב 50 ₪ לחלון קטן מ- 2 מ"ר ו- 120 ₪ לחלון גדול יותר

קירות חיצוניים – לצורך בידוד והשגת מסה תרמית הקיר החיצוני ("קיר חיצוני מסוג 1") של הבניין בנוי באופן הבא (מבחן פנימה):

- אבן בעובי 2 ס"מ – חיפוי האבן הינו דרישה מקומית של התב"ע, ולכן גם בבנייה קונבנציונלית היה צורך ליישם חיפוי אבן. אי לכך לא נלקחה עלות האבן בחישוב הפרשי העלות בין בנייה ירוקה לבנייה קונבנציונלית במקרה זה. בנוסף, לחיפוי האבן יש משמעות זניחה לביצועים התרמיים של הקיר.
 - בטון בעובי 18 ס"מ – זהה לבנייה קונבנציונלית
 - בידוד – בדירות הצפוניות ייושם בידוד ע"י לוח פוליסטירן מוקצף קשיח¹⁶⁸ בעובי 2 ס"מ. בדירות הדרומיות ייושם בידוד ע"י פוליסטירן משוחל¹⁶⁹ בעובי 5 ס"מ. הבידודים שונים מבנייה קונבנציונלית.
 - בלוק גבס בעובי 6 ס"מ - מטרתו להגדיל את הבידוד של הקירות. רכיב זה שונה מבנייה קונבנציונלית
 - שפכטל וצבע - זהה לבנייה קונבנציונלית
- כפי שהוסבר בהרחבה בתחילת פרק 4, על מנת להשוות את חתך הקירות החיצוניים לבנייה קונבנציונלית, בוצעה השוואה ביחס לשתי אופציות של בנייני ייחוס. הראשונה עונה לדרישות תקן 1045 (בידוד תרמי של בניינים) בגירסתו המעודכנת מספטמבר 2011, וכן היא בסטנדרט בנייה המתאים לסטנדרט של בניינים קונבנציונלים חדשים הדומים באופן כללי לבניין 1. היות ובניין 1 נבנה בשנים 2009-2011 כאשר עוד היה בתוקף תקן 1045 בגרסתו משנת 2003, האופציה השנייה של קירות חיצוניים בבניין הייחוס הינה בסיסית ביותר ועונה לתקן 1045 בגרסתו משנת 2003.

באופציה א' חתך הקיר החיצוני בבניין הייחוס הוא:

- אבן בעובי 2 ס"מ – עפ"י דרישת התב"ע יש צורך בחיפוי חיצוני של אבן
- בטון בעובי 18 ס"מ
- בידוד – לוח פוליסטירן מוקצף קשיח בעובי 3 ס"מ בכל מעטפת הבניין
- לוח גבס 1.2 ס"מ
- שפכטל וצבע

באופציה ב' חתך הקיר החיצוני בבניין הייחוס הוא:

- אבן בעובי 2 ס"מ – עפ"י דרישת התב"ע יש צורך בחיפוי חיצוני של אבן
- בטון בעובי 18 ס"מ
- בידוד – לוח פוליסטירן מוקצף קשיח בעובי 3 ס"מ בכל מעטפת הבניין
- טיח וצבע

¹⁶⁸ כאן נעשה שימוש בלוח פוליסטירן מוקצף קשיח במשקל מרחבי של 20 ק"ג לקוב כדוגמת 20F
¹⁶⁹ חומר מבודד העשוי מפוליסטירן מוקצף ("קלקר") קשיח בשיטת שיחול כדוגמת רונדופן

הרכיב הירוק	קיר חיצוני מסוג 1	אופן חישוב העלות בבנין 1	סה"כ עלות בבנין 1	קיר חיצוני קונבנציונלית אופציה א	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית אופציה א'	קיר חיצוני קונבנציונלית אופציה ב' (בסיסית)	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית אופציה ב
אבן 2 ס"מ	זהה לבנייה קונבנציונלית עם דרישה לחיפוי אבן			זהה לבנייה קונבנציונלית עם דרישה לחיפוי אבן			זהה לבנייה קונבנציונלית עם דרישה לחיפוי אבן		
בטון 18 ס"מ	זהה לבנייה קונבנציונלית			זהה לבנייה קונבנציונלית			זהה לבנייה קונבנציונלית		
בידוד בחזית צפופית: לוח פוליסטירן מוקצף קשיח ¹⁷⁰ בעובי 2 ס"מ	עלות החומר: 220 ש"ח לקוב כלומר 4.4 ש"ח למ"ר. עלות ההתקנה: 2 ש"ח למ"ר שטח מעטפת: 171	6.4 * 3124 = 19,994	בידוד בחזית צפופית: פמ"ק בעובי 3 ס"מ	מחושב ביחד עם עלות לוח גבס 1.2 ס"מ שטח מעטפת: 3124 מ"ר	מחושב ביחד עם עלות לוח גבס 1.2 ס"מ	מחושב ביחד עם עלות לוח גבס 1.2 ס"מ	בידוד בחזית צפופית: פמ"ק בעובי 3 ס"מ	עלות קוב פמ"ק היא 340 ש"ח כלומר 10.2 ש"ח למ"ר. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר	12.2*3124 = 38,113
בידוד בחזית דרומית: פוליסטירן משוחל 5 ס"מ	עלות חומר: 400 ש"ח לקוב כלומר 20 ש"ח למ"ר. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר שטח מעטפת: 4200 מ"ר	22 * 4200 = 92,400	בחזית דרומית: פמ"ק בעובי 3 ס"מ	מחושב ביחד עם עלות לוח גבס 1.2 ס"מ שטח מעטפת: 4200 מ"ר	מחושב ביחד עם עלות לוח גבס 1.2 ס"מ	מחושב ביחד עם עלות לוח גבס 1.2 ס"מ	בידוד בחזית צפופית: פמ"ק בעובי 3 ס"מ	עלות 10.2 ש"ח למ"ר. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר	12.2*4200 = 51,240
בלוק גבס 6 ס"מ	120 ש"ח למ"ר (כולל עבודה) שטח מעטפת: 7324 מ"ר	7324 * 120 = 878,880	לוח גבס 1.2 ס"מ	120 ש"ח למ"ר (כולל לוח גבס ובידוד פמ"ק) שטח מעטפת: 7324 מ"ר	7324 * 120 = 878,880	7324 * 120 = 878,880	אין הכרח לבצע	0	0
שפכטל וצבע	25 ש"ח למ"ר (כולל עבודה) שטח מעטפת: 7324 מ"ר	7324 * 25 = 183,100	שפכטל וצבע	25 ש"ח למ"ר (כולל עבודה) שטח מעטפת: 7324 מ"ר	7324 * 25 = 183,100	7324 * 25 = 183,100	טיח וצבע	65 ש"ח למ"ר (כולל עבודה) שטח מעטפת: 7324 מ"ר	7324 * 65 = 476,060
עלות למ"ר ועלות כוללת חזית צפופית	6.4+120+25= 151.4 ש"ח למ"ר	151.4*3124= 472,974	עלות למ"ר ועלות כוללת	ראה שורה הבאה	ראה שורה הבאה	ראה שורה הבאה	ראה שורה הבאה	ראה שורה הבאה	ראה שורה הבאה
עלות למ"ר ועלות כוללת חזית דרומית	22+120+25= 167 ש"ח למ"ר	167*4200= 701,400	עלות למ"ר ועלות כוללת	120+25= 145 ש"ח למ"ר	145*7324= 1,061,980	145*7324= 1,061,980		12.2+65= 77.2 ש"ח למ"ר	77.2*432= 565,413
עלות כוללת לחזית (ללא ממ"דים וחלונות)	כולל: בידוד, בלוק גבס, שפכטל וצבע	472,974 + 701,400 = 1,174,374	כולל: בידוד, לוח גבס, שפכטל וצבע					כולל: בידוד, טיח וצבע	565,413

טבלה 2-5. עלויות קיר חיצוני מסוג 1 בבנין 1 ובבנייני הייחוס

¹⁷⁰ כאן נעשה שימוש בלוח פוליסטירן מוקצף קשיח במשקל מרחבי של 20 ק"ג לקוב כדוגמת 20F
¹⁷¹ שטח מעטפת שבו הותקן לוח פוליסטירן מוקצף קשיח במשקל מרחבי של 20 ק"ג לקוב הוא 3124 מ"ר ושטח המעטפת שבו הותקן פוליסטירן משוחל הוא 4200 מ"ר. השטחים חושבו משטח מעטפת כללי של הבניין (שהינו 240 מ"ר לקומה לדירות הצפופיות ו 300 מ"ר לקומה לדירות הדרומיות) ממנו הופחת שטח החלונות ושטח מעטפת של הממ"דים

הקיר החיצוני של הממ"ד ("קיר חיצוני מסוג 2") בנוי באופן הבא:

- אבן בעובי 2 ס"מ – עפ"י דרישת התב"ע יש צורך בחיפוי חיצוני של אבן
- בטון בעובי 25-30 ס"מ – זהה לבנייה קונבנציונלית
- בידוד – בחזית הצפונית ייושם בידוד ע"י צמר זכוכית עטוף פוליאטילן בעל צפיפות 24 ק"ג למ"ק לפחות בעובי 2.5 ס"מ. בחזית הדרומית ייושם אותו בידוד אך בעובי 7.5 ס"מ. הבידודים שונים מבנייה קונבנציונלית
- מרווח אוויר כ 1.3 ס"מ
- לוח גבס – 1.27 ס"מ
- שפכטל וצבע - זהה לבנייה קונבנציונלית

באופציה א' חתך הקיר החיצוני של הממ"ד בבניין הייחוס הוא:

- אבן בעובי 2 ס"מ – עפ"י דרישת התב"ע יש צורך בחיפוי חיצוני של אבן
- בטון בעובי 25-30 ס"מ
- בידוד – לוח פוליסטירן מוקצף קשיח בעובי 3 ס"מ בכל מעטפת הבניין
- לוח גבס 1.2 ס"מ
- שפכטל וצבע

באופציה ב' חתך הקיר החיצוני של הממ"ד בבניין הייחוס הוא:

- אבן בעובי 2 ס"מ – עפ"י דרישת התב"ע יש צורך בחיפוי חיצוני של אבן
- בידוד – לוח פוליסטירן מוקצף קשיח בעובי 3 ס"מ בכל מעטפת הבניין
- בטון בעובי 25-30 ס"מ
- טיח וצבע

הרכיב הירוק	קיר חיצוני מסוג 2 (קיר ממ"ד)	אופן חישוב העלות בבנין 1	סה"כ עלות בבנין 1	קיר חיצוני בבנייה קונבנציונלית אופציה א	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית אופציה א'	קיר חיצוני בבנייה קונבנציונלית אופציה ב' (בסיסית)	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית אופציה ב
אבן	זזה לבנייה קונבנציונלית עם דרישה לחיפוי אבן	זזה לבנייה קונבנציונלית עם דרישה לחיפוי אבן		זזה לבנייה קונבנציונלית עם דרישה לחיפוי אבן	זזה לבנייה קונבנציונלית עם דרישה לחיפוי אבן		זזה לבנייה קונבנציונלית עם דרישה לחיפוי אבן	זזה לבנייה קונבנציונלית עם דרישה לחיפוי אבן	
בטון 25-30 ס"מ	זזה לבנייה קונבנציונלית	זזה לבנייה קונבנציונלית		זזה לבנייה קונבנציונלית	זזה לבנייה קונבנציונלית		זזה לבנייה קונבנציונלית	זזה לבנייה קונבנציונלית	
בידוד בחזית צפונית: צמר זכוכית בעובי 2.5 ס"מ ולוח גבס 1.27 ס"מ	120 ש"ח למ"ר. שטח מעטפת: ¹⁷² 807 מ"ר	120 ש"ח למ"ר. שטח מעטפת: ¹⁷² 807 מ"ר	120*807= 96,840	פמ"ק בעובי 3 ס"מ ולוח גבס 1.2 ס"מ	120 ש"ח למ"ר. שטח מעטפת: 807 מ"ר	120*807= 96,840	בידוד בחזית צפונית: פמ"ק בעובי 3 ס"מ	עלות קוב פמ"ק היא 340 ש"ח כלומר 10.2 ש"ח למ"ר. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר	12.2*807= 9845
בידוד בחזית דרומית: צמר זכוכית בעובי 7.5 ס"מ ולוח גבס 1.27 ס"מ	130 ש"ח למ"ר. שטח מעטפת: 915 מ"ר	130 ש"ח למ"ר. שטח מעטפת: 915 מ"ר	130*915= 118,950	פמ"ק בעובי 3 ס"מ ולוח גבס 1.2 ס"מ	120 ש"ח למ"ר. שטח מעטפת: 915 מ"ר	120*915= 109,800	בידוד בחזית צפונית: פמ"ק בעובי 3 ס"מ	עלות קוב פמ"ק היא 340 ש"ח כלומר 10.2 ש"ח למ"ר. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר	12.2*915= 11,163
שפכטל / טיח וצבע	25 ש"ח למ"ר (כולל עבודה) שטח מעטפת: 807+915= 1722 מ"ר	25 ש"ח למ"ר (כולל עבודה) שטח מעטפת: 807+915= 1722 מ"ר	25*1722= 43,050	שפכטל וצבע	25 ש"ח למ"ר (כולל עבודה) שטח מעטפת: 807+915= 1722 מ"ר	25*1722= 43,050	טיח וצבע	65 ש"ח למ"ר (כולל עבודה) שטח מעטפת: 1722 מ"ר	65*1722= 111,930
עלות למ"ר ועלות כוללת חזית צפונית	120+25= 145 ש"ח למ"ר	120+25= 145 ש"ח למ"ר	145*807= 117,015	עלות למ"ר ועלות כוללת	120+25= 145 ש"ח למ"ר	145*807= 117,015	עלות למ"ר ועלות כוללת	12.2+65= 77.2 ש"ח למ"ר	77.2*807= 62,300
עלות למ"ר ועלות כוללת חזית דרומית	130+25= 155 ש"ח למ"ר	130+25= 155 ש"ח למ"ר	155*915= 141,825	עלות למ"ר ועלות כוללת	120+25= 145 ש"ח למ"ר	145*915= 132,675	עלות למ"ר ועלות כוללת	12.2+65= 77.2 ש"ח למ"ר	77.2*915= 70,638
עלות כוללת לחזית של ממ"דים (ללא חלונות)	כולל: בידוד, לוח גבס, שפכטל וצבע	כולל: בידוד, לוח גבס, שפכטל וצבע	117,015+ 141,825 =258,840	כולל: בידוד, לוח גבס, שפכטל וצבע	כולל: בידוד, לוח גבס, שפכטל וצבע	117,015+ 132,675 = 249,690	כולל: בידוד, טיח וצבע	62,300+ 70,638= 132,938	

טבלה 3-5. עלויות קיר חיצוני מסוג 2 בבנין 1 ובבנייני הייחוס

¹⁷² שטח מעטפת שבו הותקן צמר זכוכית בעובי 2.5 ס"מ הוא 807 מ"ר ושטח המעטפת שבו הותקן צמר זכוכית בעובי 7.5 ס"מ הוא 915 מ"ר. השטחים חושבו משטח המעטפת של הממ"דים פחות שטח חלונות ממ"דים

בידוד גשרים תרמיים בקירות חיצוניים

בכל הדירות מהצד התחתון של בטון התקרה יושם טיח תרמי 400 בעובי 2 ס"מ וברוחב 60 ס"מ לאורך הקיר החיצוני של הדירה, וזאת על-מנת להוות בידוד תרמי מהקיר החיצוני של הבניין המחובר לתקרת הדירה ללא בידוד. גם בבנייה קונבנציונלית נדרש עפ"י תקן 1045 לבודד את הגשר התרמי באופן דומה ולכן ההבדל בעלויות הינו זניח.

בכל הדירות בצד העליון של הרצפה הושמו יריעות פוליאטילן מוקצף בעובי 0.6 ס"מ אף הן בכדי לבודד גשר תרמי כנ"ל. רכיב זה זהה לבנייה קונבנציונלית עקב דרישות לבידוד אקוסטי.

קירות הפרדה:

בין חדר מדרגות לדירה ובין לובי לדירה - בכדי לבודד את הדירות מחלל חדר המדרגות והלובי הקומתי, בוצע בכל הדירות טיח תרמי 400 בעובי 2.5 ס"מ. בהתאם לדרישות תקן 1045 בבנייה קונבנציונלית באופציה א' מיושם טיח תרמי 200 בעובי 3 ס"מ ובאופציה ב' טיח תרמי 400 בעובי 2.5 ס"מ. ההבדל בעלויות הינו זניח.

בין מרפסת שירות לחדרים – בוצע משני בלוקי גבס בעובי 6 ס"מ ובניהם לוח פוליסטירן מוקצף קשיח¹⁷³ בעובי 1 ס"מ. רכיב זה זהה לבנייה קונבנציונלית.

תקרות עליונות בנויות באופן הבא:

גג עליון (תקרה עליונה של דירות הפנטהאוס):

- יריעות ביטומניות בעובי 0.5 ס"מ
- בטון קל 1200¹⁷⁴ בעובי 5 ס"מ
- פוליסטירן משוחל בעובי 4 ס"מ – בבניין הייחוס באופציה א' מיושם בידוד ע"י לוחות פוליסטירן מוקצף קשיח בעובי 6 ס"מ ובאופציה ב' בעובי 3 ס"מ
- בטון בעובי 20 ס"מ
- טיח פנים בעובי 1 ס"מ

גג מרוצף (מתחת למרפסות של דירות הפנטהאוס):

- אריחי קרמיקה בעובי 1 ס"מ
- טיט ביובי בעובי 2 ס"מ
- בטון קל 1200 בעובי 5 ס"מ
- פוליסטירן משוחל בעובי 4 ס"מ – בבניין הייחוס באופציה א' מיושם בידוד ע"י לוחות פוליסטירן מוקצף קשיח בעובי 6 ס"מ ובאופציה ב' בעובי 3 ס"מ.
- בטון בעובי 20 ס"מ
- טיח פנים בעובי 1 ס"מ

ההבדל בין תקרות עליונות בבניין 1 לבין תקרות עליונות בבנייה קונבנציונלית הוא הבידוד בלבד.

¹⁷³ כאן נעשה שימוש בלוח פוליסטירן מוקצף קשיח במשקל מרחבי של 20 ק"ג לקוב כדוגמת 20F
¹⁷⁴ הכוונה לבטון קל עם אגרגט גס קל ועם חול בעל מסה מרחבית של 1200 ק"ג לקוב

הרכיב הירוק בידוד תקרות עליונות	אופן חישוב העלות בבנין 1	סה"כ עלות בבנין 1	גג בבנייה קונבנציונלית אופציה א	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית אופציה א	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית אופציה א	גג בבנייה קונבנציונלית אופציה ב' (בסיסית)	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית אופציה ב	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית אופציה ב
בידוד גג עליון בפוליסטירן משוחל 4 ס"מ	עלות חומר: 400 ש"ח לקוב כלומר 16 ש"ח למ"ר. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר שטח גג עליון במ"ר: $177*2=354$	$18 * 354 = 6372$	בידוד גג עליון ב פמ"ק בעובי 6 ס"מ	עלות קוב פמ"ק היא 340 ש כלומר 20.4 ש למ"ר. עלות התקנה: 2 ש למ"ר	$22.4 * 354 = 7930$	בידוד גג עליון ב פמ"ק בעובי 3 ס"מ	עלות מ"ר פמ"ק היא 10.2 ש. עלות התקנה: 2 ש למ"ר	$12.2 * 354 = 4319$
בידוד גג מרוצף בפוליסטירן משוחל 4 ס"מ	עלות חומר + התקנה 18 ש למ"ר (כנ"ל) שטח גג מרוצף ¹⁷⁵ במ"ר: $115*2=230$	$18 * 230 = 4140$	בידוד גג מרוצף ב פמ"ק בעובי 6 ס"מ	עלות קוב פמ"ק היא 340 ש כלומר 20.4 ש למ"ר. עלות התקנה: 2 ש למ"ר	$22.4 * 230 = 5152$	בידוד גג מרוצף ב פמ"ק בעובי 3 ס"מ	עלות מ"ר פמ"ק היא 10.2 ש. עלות התקנה: 2 ש למ"ר	$12.2 * 230 = 2806$
סה"כ עלות בידוד תקרות עליונות		10,512			13,082			7125

מהעלויות הנ"ל ניכר כי עלות בידוד תקרות עליונות בבנין 1 הינה נמוכה יותר מעלות בידוד תקרות אלו בבנין הייחוס באופציה א'.

רצפה מעל חלל פתוח ומעל חלל סגור (חלל שאינו מחומם ואינו מקורר) בנויות באופן הבא:

רצפה מעל חלל פתוח: ¹⁷⁶

- קרמיקה בעובי 1 ס"מ
- טיט ביובי בעובי 2 ס"מ
- חול בעובי 6 ס"מ
- בידוד - פוליסטירן משוחל בעובי 6 ס"מ. בבנין הייחוס בשתי האופציות מיושם בידוד ע"י לוחות פוליסטירן מוקצף קשיח בעובי 2 ס"מ
- בטון בעובי 20 ס"מ
- טיח פנים בעובי 1 ס"מ

פרט לבידוד, כל הרכיבים הנ"ל זהים לרצפה מעל חלל פתוח בבנייה קונבנציונלית.

רצפה מעל חלל סגור: ¹⁷⁷

כנ"ל אלא שמעל תקרת הבטון השתמשו בבידוד של לוח פוליסטירן מוקצף קשיח בעובי 1 ס"מ. בבנין הייחוס בשתי האופציות מיושם בידוד ע"י לוחות פוליסטירן מוקצף קשיח בעובי 2 ס"מ.

¹⁷⁵ גג מרוצף הוא הגג מתחת למרפסות הפנטהאוזים ומעל לדירות קומה 19

¹⁷⁶ מדובר ברצפה של הדירות הדרומיות בקומה 2 (דירות 5+6) אשר נמצאות מעל המחסנים בקומה 1

¹⁷⁷ מדובר ברצפה של של הדירות הצפוניות בקומה 1 (דירות 1+2) אשר נמצאות מעל הלובי בקומת הכניסה

ההבדל בין רצפה מעל חלל פתוח וסגור בבניין 1 לבין רצפה מעל חלל פתוח וסגור בבנייה קונבנציונלית הוא הבידוד בלבד.

הרכיב הירוק- רצפות מעל חלל פתוח וסגור	אופן חישוב העלות בבניין 1	סה"כ עלות בבניין 1	רצפה בבנייה קונבנציונלית בשתי האופציות	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית בשתי האופציות	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
בידוד רצפה מעל חלל פתוח בפוליסטירן 6 ס"מ	עלות חומר: 400 ש"ח לקוב כלומר 24 ש"ח למ"ר. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר שטח הרצפה במ"ר: $125 \times 2 = 250$	$26 \times 250 = 6500$	בידוד רצפה מעל חלל פתוח בפמ"ק בעובי 2 ס"מ	עלות מ"ר פמ"ק היא 6.8 ש"ח. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר	$8.8 \times 250 = 2200$
בידוד רצפה מעל חלל סגור בפמ"ק בעובי 1 ס"מ	עלות חומר: 300 ש"ח לקוב כלומר 3 ש"ח למ"ר. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר שטח הרצפה במ"ר: $110 \times 2 = 220$	$5 \times 220 = 1100$	בידוד רצפה מעל חלל סגור בפמ"ק בעובי 2 ס"מ	עלות מ"ר פמ"ק היא 6.8 ש"ח. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר	$8.8 \times 220 = 1936$
סה"כ בידוד רצפות מעל חלל פתוח וסגור		7,600			4,136

ג. טכניקות פאסיביות ואקטיביות לחימום, קירור, אוורור ותאורה טבעית:

- **הצללה בחזית הדרומית ע"י פרגולות** – מעל חלונות חדרי השינה של ההורים בחזית הדרומית נבנו פרגולות מרפפות להצללת החלונות בקיץ. בנוסף בוצעה בדיקת הצללה ממוחשבת של הפרגולה בקיץ ובחורף.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 1	סה"כ עלות בבניין 1	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
פרגולות מעל חלונות חדרי שינה הורים בחזית דרומית	900 ש"ח ליחידה	$900 \times 38 = 34,200$	אין הכרח לבצע	0
בדיקת הצללה ממוחשבת לפרגולות מעל חדרי שינה, למרפסות ולפרגולות בקומה 19 ו 20	8500 לכל הבדיקות	8500	אין הכרח לבצע	0

- **מרפסות ופרגולות** – המרפסות בבניין בנויות זו מעל זו ובכך מקנות הצללה בחודשי הקיץ הן על המרפסות שמתחתיהן והן על הוויטרינות ועל חלונות חדרי השינה. רכיב זה זהה לבנייה קונבנציונלית.

בקומה 19 ו 20 נבנו פרגולות (מסגרת בטון ופרגולת אלומיניום) בכל אחת מ 4 המרפסות בקומה, וזאת בכדי להקנות הצללה בחודשי הקיץ על המרפסות עצמן והוויטרינות. בבנייה קונבנציונלית אין הכרח לבצע רכיב זה.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 1	סה"כ עלות בבניין 1	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
פרגולות מעל המרפסות בקומה 20 ו 19	6000 ש"ח ליחידה	$6000 * 8 = 48,000$	אין הכרח לבצע	0

• שיפור התאורה הטבעית:

- **לבני זכוכית** - בכדי להגביר את התאורה הטבעית בחדרי המגורים של הדירות הדרומיות נבנה בקיר החיצוני מפתח של לבני זכוכית ברוחב 0.45 מ' ובגובה 1.05 מ'. רכיב זה שונה מבנייה קונבנציונלית.
- **זכוכית חלבית בדלת חדר שירותי אורחים** – על מנת לשפר את התאורה הטבעית יושמה בדלת זכוכית חלבית בגודל 20*20 ס"מ. רכיב זה מקובל בבנייה קונבנציונלית ועלותו כ 100 ש"ח לדלת.
- **שיפור התאורה הטבעית בחניון** – על מנת לשפר את התאורה הטבעית בחניונים נבנו הגבהות ומעליהן לבני זכוכית. רכיב זה שונה מבנייה קונבנציונלית.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 1	סה"כ עלות בבניין 1	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
לבני זכוכית בדירות הדרומיות בשטח של 1.05*0.45 מ'	500 ש"ח ליחידה	$500 * 38 = 19000$	אין הכרח לבצע. במקום לבני זכוכית היה נבנה קיר חיצוני רגיל בעלות 465 ₪ למ"ר	$1.05 * 0.45 * 38 * 465 = 8349$
לבני זכוכי בחניון ברוחב 0.8 ואורך 8 מ' והגבהות	2 יחידות בעלות 12,000 ש"ח ליחידה	$12000 * 2 = 24,000$	במקום לבני זכוכית היה נבנה קיר רגיל בעלות של 270 ש"ח למ"ר	$0.8 * 8 * 2 * 270 = 3456$

• אמצעי אורור מאולץ:

- **מאווררי תיקרה** - בכל דירה הותקנו 2 מאווררי תיקרה, האחד בחדר שינה הורים והשני בחדר שינה נוסף. רכיב זה שונה מבנייה קונבנציונלית.
- **הכנה לשואב אדים** – בכל מטבח בוצעה הכנה לשואב אדים. רכיב זה שונה מבנייה קונבנציונלית

- **שואב אוויר לשירותי אורחים** – בכל דירה הותקנה מאוורר בשירותי אורחים. רכיב זה מקובל גם בבנייה קונבנציונלית ועלותו 400 ש"ח ליחידה.

הרכיב הירוק אמצעי אוורור מאולץ	אופן חישוב העלות בבניין 1	סה"כ עלות בבניין 1	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
2 מאווררי תיקרה	700 ש"ח למאוורר	$700 * 2 * 76 = 106,400$	אין הכרח לבצע	0
הכנה לשואב אדים	500 ש"ח לנקודה	$500 * 76 = 38,000$	אין הכרח לבצע	0

בידוד תרמי בחדר כביסה – על מנת לבודד את מכונת הכביסה והמייבש המהווים מקור חום משמעותי, הוחלט להפרידם משאר הבית ע"י קיר מבודד יותר הבנוי משני בלוקי גבס בעובי 6 ס"מ ובניהם לוח פוליסטירן מוקצף קשיח¹⁷⁸ בעובי 1 ס"מ. רכיב זה מקובל גם בבנייה קונבנציונלית.

ד. מערכת מיזוג אוויר

בדירות שבקומות הטיפוסית הותקנו מערכת מיזוג אוויר מיני מרכזית בהספק של 4.7 KW. בדירה הצפון מערבית הותקן בנוסף מזגן עילי בעל הספק של 1 KW בחדר השינה של ההורים. בכל אחת משתי דירות הפנטהאוס הותקנו שתי מערכות מיזוג אוויר מיני מרכזיות בעלות הספק של 2.9 KW אחת לחדרי השינה והשנייה לשטח הציבורי של הדירה. מערכות מיזוג האוויר הן בעלות דירוג אנרגטי גבוה: B i A עפ"י מדד Eurovent ואין מסוג Inverter. עלות מערכות מיזוג האוויר היו בממוצע 14000 ש"ח ליחידת דיור.

בכדי שבניין הייחוס יהיה בר השוואה לבניין 1, ההנחה היא שבבניין הייחוס גם כן מותקנות מערכות מיזוג אוויר הדומות בהספקן למערכות שהותקנו בבניין 1. בבנייה קונבנציונלית אין הכרח דווקא ליישם מערכות מיזוג אוויר חסכוניות אך עלות מערכות מיני מרכזיות בעלות הספקים זהים לנ"ל, שאינן מערכות מסוג Inverter, הינה דומה מאוד לעלות בבניין 1, ולכן הפרש העלויות צפוי להיות זניח.

ה. מסתור כביסה

בכל יחידות הדיור הותקנו מתקני תליית כביסה עם מסתור בעל רווח משתנה בין הרפפות לאפשר זרימת אוויר טובה יותר לייבוש הכביסה. רכיב זה זהה לבנייה קונבנציונלית.

¹⁷⁸ כאן נעשה שימוש בלוח פוליסטירן מוקצף קשיח במשקל מרחבי של 20 ק"ג לקוב כדוגמת 20F

2. קרקע

א. צפיפות

קריטריון הצפיפות נועד להבטיח יעילות בשימוש משאב הקרקע. עפ"י תמ"א 35 ליישוב כנתניה, צפיפות ממוצעת מינימלית צריכה להיות 10 יחידות דיור (יח"ד) לדונם. בפרויקט נתניה מזרח שטח המגרש הינו 8.38 דונם ועליו ניבנו 229 יח"ד, שהן 27.3 יח"ד לדונם, כלומר הפרויקט עמד בדרישות המינימליות של תמ"א 35 ואף מעבר לכך. הדרישה לעמידה בדרישות הצפיפות של תמ"א 35 זהה בבנייה קונבנציונלית.

ב. מירוב קרקע - חניות

בבנין 1 נבנו שני מפלסי חניה ובהם 124 מקומות חניה (64 בעליון ו 60 בתחתון). דרישת עיריית נתניה עבור בניינים גבוהים היא 1.6 חניות לכל דירה כלומר 122 חניות עבור בנין 1, אך לאו דווקא כחנייה תת קרקעית, בעוד תקן 5281 מעניק ניקוד לחניונים ושטחי שירות תת קרקעיים שהם בהכרח יקרים יותר. עם זאת, היות והשטח הכולל של המגרש הינו 8.38 דונם לכל שלושת הבניינים, כלומר 2800 מ"ר בלבד לבנין 1, ההנחה כאן היא שגם בבנין קונבנציונלי בעל נתונים זהים לבנין 1 היה הכרח לבצע חניה תת קרקעית. לכן אין הבדל בעלות רכיב זה בין בנין 1 לבנייני הייחוס.

ג. שימור קרקע

1. התאמת הבנייה לתבליט טבעי ותוואי השטח – הפרש הגבהים במגרש נוצל לתכנון החניונים בכדי למנוע חפירות מיותרות. אופן בנייה זה זהה לבנייה קונבנציונלית.
2. ניצול כל עודפי העפר מהחפירה בפרויקט – כ 20% מעודפי העפר נוצלו למילוי חוזר בתחום האתר לטובת מצעים גנניים, והשאר ינוצל לפרויקט בנייה אחר של היזם בפתח תקווה. באופן זה לא היה בזבז של עודפי עבר או השלכה / הטמנה שלהם. אופן ניצול זה של עודפי העפר זהה לבנייה קונבנציונלית.
3. שיקום נופי – התכנון מאזן בין השטח הבנוי לשטחי הגינון המפוזרים בעיקר בצידו הצפוני של הפרויקט, ומורכבים מ 100% אדמה מקומית. החנייה מרוצפת במרצפות משתלבות, ויושמו לשונות גינון עם מילוי טוף בכדי לשלב צמחיה באזורי החנייה. אופן ביצוע זה זהה לבנייה קונבנציונלית.
4. פיתוח גינה חסכנית במים – כ 30% משטח הגינה בוצע עם כיסוי דשא והשאר עם שתילים. שטחי הדשא נמצאים מצפון לבניינים דבר אשר יביא לחסכון במים היות והם מוצלים ע"י הבניינים. הצמחים המשולבים בגינה תואמים את רשימת הצמחים החסכניים של משרד החקלאות. לאדמה ולטוף הוסף קומפוסט בכמות של 25 מק' לדונם אשר ישפר את ספיחת המים והחזקתם בקרקע. פיתוח הגינה נעשה בהקפדה על חיסכון במים: הגינה חולקה לאזורי צמחים בין השאר גם לפי צריכת המים שלהם, ונעשה שימוש בקווי השקיה נפרדים. הותקן מחשב השקיה המאפשר הפעלת ברזים נפרדים לאזורי גינה שונים ובמועדים שונים, ובכך חיסכון מקסימלי במים מחד וטיפול אופטימלי בצומח מאידך. נעשה שימוש בטפטפות (פרט לדשאים) המקלות על השקיית האזורים הצמודים לצמח בלבד, ובאביזרים

חסכניים לייעול ההשקיה (ווסתי לחץ, מסננים ואביזרי בקרה). בנוסף פורטו הנחיות ביצוע לגנן על מנת לתפעל את הגינה ביעילות ובחיסכון. בבנייה קונבנציונלית אין הכרח לפתח גינה חסכנית במים.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 1	סה"כ עלות בבניין 1	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
פיתוח גינה חסכנית במים	שטח הגינה כ- 500 מ"ר	120,000	עלות פיתוח של 250 ש"ח למ"ר	$250 * 500 =$ 125,000

מהעלויות הנ"ל ניכר כי עלות פיתוח גינה חסכנית במים ע"י היזם הינה נמוכה יותר מזו של פיתוח גינה רגילה בבנייני הייחוס.

5. נטיעת עצים בוגרים – כל העצים הנטועים הינם עצים בוגרים – רכיב זה מקובל גם בבנייה קונבנציונלית.

3. מים

א. **חיסכון במים שפירים** - הותקנו חסכמים ומיכלי הדחה דו כמותיים אשר עפ"י הערכות היזם המבוססות על "ההוראות למתקני תברואה" (שנת 2007) יביאו לחיסכון של כ- 30% בצריכת המים הביתית. רכיבים אלו זהים לבנייה קונבנציונלית.

ב. מי נגר וניקוז

- הבניין תוכנן כך שלא יפגע במערכות הניקוז הטבעיות הקיימות. אופן תכנון זה זהה לבנייה קונבנציונלית.
- בורות חלחול לקליטת מי נגר משטחים שאינם מזוהמים – בוצעו 8 בורות חלחול בקוטר 0.5 מ' ובעומק 6 מ' כ"א בעלות 2000 ש"ח לבור (16,000 לכל המערכת) כולל צינור שרשורי. בבנייה קונבנציונלית גם כן יש ליישם בורות חלחול בהתאם להנחיות היועץ המתאים (יועץ ניקוז או נוף למשל) המתחשב בסוג הקרקע, אחוז השטח הבנוי, תקנות הבנייה של הרשות המקומית, הנחיות משרד השיכון¹⁷⁹ ועוד. היות ואין תקנות אחידות מחייבות לגבי גודל בורות החלחול ולמעשה ההנחיות מתקבלות מהיועץ המתאים, קשה להעריך מהו גודל בורות החלחול הנדרשים מבניין קונבנציונלי דומה, ומכאן שקשה להעריך את עלותם המדויקת. עם זאת ברור כי הפרש העלויות בין ההשקעה בבורות חלחול בבניין 1 לבין זו שבבניין קונבנציונלי צפוי להיות זניח ומוערך לכל היותר באלפי שקלים בודדים.

¹⁷⁹ פרלמן אלון וחובריו (2004), מדריך לתכנון ובנייה משמרת נגר עילי

4. נושאים סביבתיים אחרים

א. פסולת ביתית

בוצעה הכנה להפרדת פסולת רטובה ויבשה ע"י חדר אשפה גדול של 42 מ"ר המופרד לשני חדרים: האחד לפסולת רטובה בגודל 24 מ"ר והשני לפסולת יבשה בגודל 18 מ"ר עם פחים למיחזור פלסטיק, עיתונים וקרטונים. בנוסף, בסמוך לחדרי האשפה מוקצה שטח של 3 מ"ר לפסולת גושית וגזם.

בבנייה קונבנציונלית היה ניתן להסתפק בחדר אשפה בגודל 35 מ"ר¹⁸⁰ וב- 7 מ"ר הנותרים אפשר היה לבנות עוד מחסנים פרטיים. העלות של בניית מחסן פרטי מוערכת ב 2500 ₪ למ"ר, אלא שמ"ר מחסן פרטי אפשר למכור ב- 5000 ₪ למ"ר. כלומר בבנייה ירוקה קיימת עלות בגין הפסד מכירת שטח אחסון פרטי.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 1	סה"כ עלות בבניין 1	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
חדר אשפה	נבנה חדר בגודל 42 מ"ר בעלות 3000 ₪ למ"ר.	$42 * 3000 = 126,000$	חדר אשפה בגודל 35 מ"ר בעלות 3000 ₪ למ"ר ומחסן בגודל 7 מ"ר בעלות 2500 ₪ למ"ר מכירת שטח מחסן ב 5000 ₪ למ"ר	עלות בנייה: $35 * 3000 + 7 * 2500 = 122,500$ הכנסה ממכירת מחסן: $7 * 5000 = 35,000$
סה"כ עלות		126,000		$122,500 - 35,000 = 87,500$

ב. ניהול סביבתי של מהלך הבנייה

1. העברת 30% מפסולת הבנייה לאתר למיחזור - הקבלן התחייב להעביר לפחות 30% מפסולת הבנייה למחזור מחוץ לאתר. סה"כ כמות פסולת הבניין מוערכת בכ 25 טון פסולת לדירה. מבירור לגבי עלות הטמנת טון פסולת באתר הטמנה לעומת אתר הממחזר את הפסולת עלה שאין הבדל בעלות והיא נעה סביב 45 ₪ לטון.¹⁸¹
2. שימוש בתבניות יציקה רב פעמיות – כל היציקות של בטון בעובי 18 ס"מ בוצעו ע"י תבניות מתכת רב פעמיות. שיטה זו מיושמת גם בבנייה קונבנציונלית.
3. ניהול אתר הבנייה לפי תכנית למניעת מפגעים סביבתיים – ביצוע התוכנית מצמצם מפגעי רעש, אבק וזיהום, ומביא גם למיחזור פלסטיק. עלות ביצוע התוכנית התבטאה בעלות הפרדת פסולת בניין באתר עצמו המפורטת בסעיף הבא.

¹⁸⁰ דרישות עריית נתניה לבניין עם 66-100 דירות הן שבחדר האשפה יהיו: 2 דחסניות 10 קוב האחת לפסולת יבשה והשנייה לרטובה, וכן 2-מכלי אשפה בנפח 1100 ליטר כ"א לפסולת יבשה הניתנת למיחזור. נתונים אלו הם עפ"י דרישות מחלקת פינוי אשפה באגף שפ"ע נכון לפברואר 2012. ממדי כל דחסנית הם: עומק 4.6 מ' ורוחב 2.5 מ'. מימדי מכל 1100 ליטר הם: עומק 1.0 מ' ורוחב 1.26 מ', ועל כן נמצא שגודל חדר אשפה המתאים לנתונים אלו הינו 35 מ"ר¹⁸¹ הבירור בוצע מול חברת בני וצביקה בע"מ וחברת א.ס.פ. בע"מ המתמחות בטיפול ומחזור פסולת בניין

4. הפרדת פסולת בניין באתר עצמו – בוצעה לכל אורך הפרויקט ע"י 2 פועלים נוספים במשך 15 חודשים. אופן בנייה זה שונה מבנייה קונבנציונלית.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 1	סה"כ עלות בבניין 1	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
כתיבת תוכנית למניעת מפגעים סביבתיים	נכלל בעלות היועצים הירוקים (ראו סעיף ניתוח אקלימי)	נכלל בסעיפים קודמים	אין הכרח לבצע	0
הפרדת פסולת בניין באתר עצמו	לכל 3 הבניינים היה צורך ב 2 פועלים בעלות 400 ש"ח ליום עבודה כ"א, למשך 20 יום בחודש, ולמשך 15 חודשים	2*400*20*1 5/3= 80,000	אין הכרח לבצע	0

ג. איכות אוויר ואורור

הודות למיקום הבניין בזווית הטיה של 19 מעלות לכיוון מערב ביחס לצפון, קיימים פתחים למזרח ב- 3 מתוך 4 הדירות בקומה טיפוסית. הדירה הצפון מערבית מקבלת רוחות מכיוון צפון וצפון מערב. מניתוח האורור עולה שכל החדרים בקומה טיפוסית עומדים בדרישת האורור – מעל ל 50 החלפות אוויר בשעה. עלות הרכיבים המאפשרים את האורור (חלונות, העמדת מבנה ועוד) נכללה בסעיף התכנון, הבידוד התרמי ושטח המעטפת של הבניין.

ד. רעש

העמידה בדרישות אקוסטיות הושגה הודות לקירות ותקרות (רצפות) המונעות מעבר רעש. רכיבים אלו מיושמים ברובם גם בבנייה קונבנציונלית ועלותם נכללה בסעיף האנרגיה.

ה. קרינה

נעשה שימוש בחומרי בנייה העומדים בתקן 5098 (תכולת יסודות רדיואקטיביים טבעיים במוצרי בנייה). שימוש בחומרי בנייה העומדים בתקן זה זהה לנעשה בבנייה קונבנציונלית. בוצעה בדיקה לקרינה בלתי מייננת מרשת החשמל ע"י יועץ קרינה, ונמצא שהקרינה אינה חורגת מהמלצות המשרד להגנת הסביבה.¹⁸² היות ובדיקות הקרינה, ובמקרה הצורך יישום בידוד מונע קרינה הן דרישות של החוק והתקנות, גם בבניין הייחוס, שכאמור עומד בדרישות החוק, היו מבצעים את אותן הבדיקות, ולכן אין ברכיב זה עלות השקעה נוספת בגין בנייה ירוקה.¹⁸³ עם זאת חשוב לציין שלמרות שחוק הקרינה והתקנות השונות מחייבים לבצע בדיקות ובמקרה הצורך מיגון בכל בניין מגורים שבו מתקני השנאה, משיחות עם אנשי מקצוע מתחום הקרינה, עולה כי ההטמעה של החוק והתקנות עלולה להיות לעיתים לוקה בחסר.¹⁸⁴ אם כך, יתרון נוסף של בניין בעל

¹⁸² המשרד להגנת הסביבה, [חשיפה לקרינה אלקטרומגנטית בתדר רשת החשמל](#), המלצות המשרד

¹⁸³ להרחבה על חוק ותקנות הקרינה ראה סעיף קרינה בבניין 304

¹⁸⁴ עם זאת נדרש נתון מחקרי אמפירי המאשש טיעון זה

תקן ירוק על פני בניין קונבנציונלי, הוא שבבניין ירוק נושא הקרינה נבחן בקפידה לעמידה בתקן 5281 ע"י מכון התקנים, בעוד שבבניין קונבנציונלי הבחינה לעמידה בחוק ותקנות הקרינה, עלולה להיות לוקה בחסר.

ו. תחבורה

דרישת התקן היא שיהיה מקום לחניית אופניים לכ 50% מהדירות, כלומר לכ 38 זוגות אופניים. בבניין נבנה חדר עגלות ואופניים בקומת הכניסה בגודל 23.7 מ"ר. בקומה 1 נבנו 15 מחסנים ששטחם מוקצה בחלקו לאחסון אופניים, וכן הוקצה שטח של כ 4.5 מ"ר מחוץ לבניין לחניית 9 זוגות אופניים. בסה"כ הוקצה שטח לכ 34 חניות אופניים.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 1	סה"כ עלות בבניין 1	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
חדר אופניים ועגלות בקומת הקרקע	גודל החדר הוא 23.7 מ"ר בעלות 3500 ש"ח למ"ר	$23.7 * 3500 = 82,950$	אין הכרח לבצע אך מקובל גם בבנייה קונבנציונלית	זהה לעלות בבניין 1

ז. חומרי בנייה בעלי תו ירוק

בבנייה השתמשו בצבעים בעלי תו ירוק וכן בקלקר ולוחות גבס. חומרים אלו או דומים להם בעלותם משמשים גם בבנייה קונבנציונלית.

5. התרשמות המעריך - מערכות שונות

א. מערכת למניעת שיקוע אבנית

המים בישראל עשירים במינרלים (סידן ומגנזיום), ועל כן מתגבשת בהם אבנית קשה המזיקה לצנרת, לברזים ולגופי החימום. מערכת למניעת שיקוע אבנית משנה את מבנה התגבשות האבנית כך שהיא תהיה פריכה ותתגבש בצורת מחטים במקום בצורת קוביות. הדבר מונע נזקים לצנרת ופגיעה ביעילות גופי חימום. עפ"י הערכת היצרן המערכת תחסוך לבניין כולו כ 99,864 קוט"ש בשנה

185

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 1	סה"כ עלות בבניין 1	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
מערכת למניעת שיקוע אבנית	הותקנו 2 מערכות בעלות כוללת של 400 ש"ח לדירה	$400 * 76 = 30,400$	אין הכרח לבצע	0

ב. חסכון בחשמל בדירות המגורים

- שעון שבת לדוד חשמלי – שעון זה מהווה קוצב זמן המפעיל ומכבה את דוד החשמל וכך מאפשר גמישות וחסכון בשעות הפעלתו. רכיב זה זהה לבנייה קונבנציונלית.
- מפסקי פיקוד מרכזי – בכניסה לכל דירה הותקנו שני מפסקי פיקוד מרכזי האחד לכיבוי והפעלה של התאורה והשני לכיבוי המזגנים בכל הדירה. מפסקים אלו מאפשרים כיבוי התאורה והמזגנים באופן קל ונוח לפני עזיבת הדירה.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 1	סה"כ עלות בבניין 1	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
מפסקי פיקוד מרכזי לתאורה ומזגנים	2000 ₪ לדירה ¹⁸⁶	$2000 * 76 = 152,000$	אין הכרח לבצע	0

ג. חסכון בחשמל בשטחים הציבוריים

- התקנת נורות LED ו- PL – נורות אלו חסכוניות בצריכת החשמל שלהן ובעלות אורך חיים גדול מאוד (10,000 שעות לנורת PL ו- 40,000 שעות לנורת LED) כך שהן חוסכות גם הוצאות תחזוקה. התקנות החדשות של משרד התשתיות באישור וועדת הכלכלה של הכנסת מחייבות החל מינואר 2012 שימוש בנורות חסכוניות גם בבנייה קונבנציונלית,¹⁸⁷ ובכל מקרה ההפרש בעלויות לעומת נורות ליבון רגילות הינו זניח.

¹⁸⁵ חישוב זה מתבסס על ההנחה ש- 6 מ"מ אבנית גורמים לבזבז של 40% מהאנרגיה הנצרכת לחימום מים, וזאת עפ"י בדיקות שנערכו בשנת 1999 בקיבוץ שפיים. עפ"י החישוב משפחה בת 4 נפשות משתמשת ב- 9 קוט"ש לחימום מים ביממה כלומר בשנה נחסכים: 9 קוט"ש X 365 ימים X 76 דירות X 40% חיסכון = 99,864 קוט"ש

¹⁸⁶ מנכ"ל אלפא פריזמה סבר שיתכן ועלות זו יקרה בייחס למחירים המצויים בשוק לרכיב דומה, אך לא ניתנה הערכת מחיר מדויקת

¹⁸⁷ איתי טרילניק, 2011, [נורות ליבון ייאסרו למכירה – המשק יחסוך מיליארד קוט"ש בשנה](#), דה-מרקר 13.12.11

- קוצב זמן – התאורה בלובי הכניסה מנוהלת ע"י קוצב זמן החוסך בזמן הפעלת הנורות. רכיב זה זהה לבנייה קונבנציונלית.
- קוצב זמן – התאורה בלובים הקומתיים ובחדרי המדרגות תבוצע ע"י קוצב זמן אשר יחסוך בזמן הפעלת הנורות. רכיב זה זהה לבנייה קונבנציונלית.
- גופי תאורה חסכוניים בגינה – בגינה הותקנו גופי תאורה חסכוניים ובעלי אורך חיים גדול. אין הבדל בעלות של רכיבים דומים המיושמים בבנייה קונבנציונלית.
- בגינה יושמו מעגלי תאורה המחוברים לקוצב זמן – עלות יישום מעגלים אלו הינה זניחה.

ד. חסכון באנרגיה עקב אורור ותאורה טבעית בחניונים

בכדי לשפר את האורור והתאורה הטבעית בחניונים ובכדי לחסוך עלות מערכת ליניקת אוויר הוחלט לפתוח בחניונים פתחי אורור בנוסף על פתחי היציאה והכניסה של המכונים. עפ"י הנחיית המשרד להגנת הסביבה, חניון אינו מצריך מערכות ליניקת אוויר כאשר שטח האורור הטבעי גדול מ 2% משטח רצפת המפלס בנוסף לפתחי הכניסה והיציאה של המכונים. בבניין הותקנו פתחים בהיקף 2.54% משטח רצפת החניון. שימוש בפתחי אורור בחניונים נפוץ גם בבנייה קונבנציונלית. בנוסף, בחניות השתמשו בלבני זכוכית להגברת התאורה הטבעית ועלותן חושבה כבר בסעיף האנרגיה.

ה. שימוש במצעים ממוחזרים

- בכל שטח הפרויקט בוצע שימוש במצעים ממוחזרים. לצורך הפרויקט השתמשו ב- 1500 קוב מצע ממוחזר בעלות 50 ש"ח לקוב. עלות זו זהה לעלות מצעים בבנייה קונבנציונלית.
- בוצע שימוש בבטון ממוחזר לסלילת דרכים למשרדי הקבלן. אופן בנייה זה דומה לנעשה בבנייה קונבנציונלית ובכל מקרה הינו בעל עלות כספית זניחה.

ו. חוברת מדריך לדייר

היזם הפיק חוברת מדריך לדייר המסבירה את התפקוד הירוק של הדירות. רכיב זה אינו מיושם בבנייה קונבנציונלית

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 1	סה"כ עלות בבניין 1	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
חוברת מדריך לדייר	25,000	25,000	אין הכרח לבצע	0

ז. מעלית חכמה

הותקנו בבניין מעליות חסכוניות באנרגיה בעלות ווסת מהירות. רכיב זה זהה לבנייה קונבנציונלית

ח. עלויות נוספות

- **שינוי תב"ע – התב"ע המקורית למגרש עליו נבנו בניינים 1-3 הייתה לבניית 4 בניינים בני 15 קומות כ"א. כחלק מתפיסת הבנייה הירוקה של היזם, הוגשה בקשה לשינוי התב"ע ל 3 בניינים בני 20 קומות כ"א, וזאת בין היתר, בכדי להגדיל את המרחקים בין הבניינים על מנת לאפשר**¹⁸⁸
אוויר, תאורה טבעית, נוף ושטחי גינון טובים וגדולים יותר.

הרכיב הירוק	אופן חישוב העלות בבניין 1	סה"כ עלות בבניין 1	אופן החישוב בבנייה קונבנציונלית	סה"כ עלות בבנייה קונבנציונלית
שינוי תב"ע	150,000 לכל שלושת הבניינים	50,000	אין הכרח לבצע	0
עלות הגשה למכון התקנים	נכלל בעלות היועצים הירוקים (ראו סעיף ניתוח אקלימי)	נכלל בסעיפים קודמים	אין הכרח לבצע	0
אגרה למכון התקנים	46,200 לכל שלושת הבניינים באותה העמדה	15,400	אין הכרח לבצע	0

¹⁸⁸ שינוי תב"ע הינו הליך מורכב, ארוך ויקר ולכן אינו אפשרי לכל יזם, ועם זאת הוא יכול לאפשר הטמעת רכיבים של בנייה ירוקה כמו במקרה הנ"ל

ג. סיכום השוואת עלויות

להלן סיכום העלויות הנ"ל של האמצעים הירוקים אשר הוטמעו בבניין 1 והינם שונים בעלותם מבנייה קונבנציונלית, והשוואתן להערכת עלויות של בבניין ייחוס:¹⁸⁹

סעיף	נושא	עלות בבניין 1	עלות אופציה א	עלות ההשקעה הנוספת בבניין 1 לעומת בניין הייחוס באופציה א	עלות אופציה ב	עלות ההשקעה הנוספת בבניין 1 לעומת בניין הייחוס באופציה ב
1	ליווי יועצים ירוקים ¹⁹⁰	50,000	-	50,000	-	50,000
2	ניתוח הצללות	10,000	-	10,000	-	10,000
3	בדיקת דירוג דירות אנרגטי	35,000	-	35,000	-	35,000
4	זיגוג	125,566	77,233	48,333	77,233	48,333
5	קירות חיצוניים ללא ממ"ד	1,174,374	1,061,980	112,394	565,413	608,961
6	קירות חיצוניים ממ"ד	258,840	249,690	9,150	132,938	125,902
7	בידוד תקרות עליונות	10,512	13,082	-2,570	7,125	3,387
8	בידוד רצפות	7,600	4,136	3,464	4,136	3,464
9	פרגולות סולאריות	34,200	-	34,200	-	34,200
10	בדיקת הצללה לפרגולות סולאריות	8,500	-	8,500	-	8,500
11	פרגולות בקומות 19 ו 20	48,000	-	48,000	-	48,000
12	לבני זכוכית בדירות הדרומיות	19,000	8,349	10,651	8,349	10,651
13	לבני זכוכית בחניון	24,000	3,456	20,544	3,456	20,544
14	מאווררי תיקרה	106,400	-	106,400	-	106,400
15	הכנה לשואב אדים	38,000	-	38,000	-	38,000
16	פיתוח גינה חסכנית במים	120,000	125,000	-5,000	125,000	-5,000
17	חדר אשפה עם פחי מחזור	126,000	87,500	38,500	87,500	38,500
18	הפרדת פסולת באתר	80,000	-	80,000	-	80,000
19	מערכת למניעת שיקוע אבנית	30,400	-	30,400	-	30,400
20	פיקוד מרכזי לתאורה ומיזוג	152,000	-	152,000	-	152,000
21	חוברת "מדריך לדייר"	25,000	-	25,000	-	25,000
22	שינוי תב"ע	50,000	-	50,000	-	50,000
23	אגרה למכון התקנים	15,400	-	15,400	-	15,400
סה"כ לבניין		2,548,792	1,630,426	918,366	1,011,150	1,537,642
סה"כ לדירה		33,537	21,453	12,084	13,305	20,232
שיעור ההשקעה (באחוזים מעלות הבניין)				102.08%		103.54%
סה"כ עלות רכיבי אנרגיה (סעיפים 1-15)		1,949,992	1,417,926	532,066	798,650	1,151,342
סה"כ עלות רכיבי קרקע (סעיף 16)		120,000	125,000	-5,000	125,000	-5,000
סה"כ עלות רכיבי המים		-	-	-	-	-
סה"כ עלות נושאים סביבתיים אחרים (סעיפים 17-18)		206,000	87,500	118,500	87,500	118,500
סה"כ עלות רכיבי התרשמות מעריך (סעיפים 19-21)		207,400	-	207,400	-	207,400
סה"כ עלות רכיבים נוספים (סעיפים 22-23)		65,400	-	65,400	-	65,400
סה"כ עלות רכיבים פאסיביים (כולל גינה) (סעיפים 1-13,16,17,21)		2,076,592	1,630,426	446,166	1,011,150	1,065,442
סה"כ עלות מערכות (סעיפים 14,15,19,20)		326,800	-	326,800	-	326,800
סה"כ עלות רכיבים אחרים (סעיפים 18,22,23)		145,400	-	145,400	-	145,400

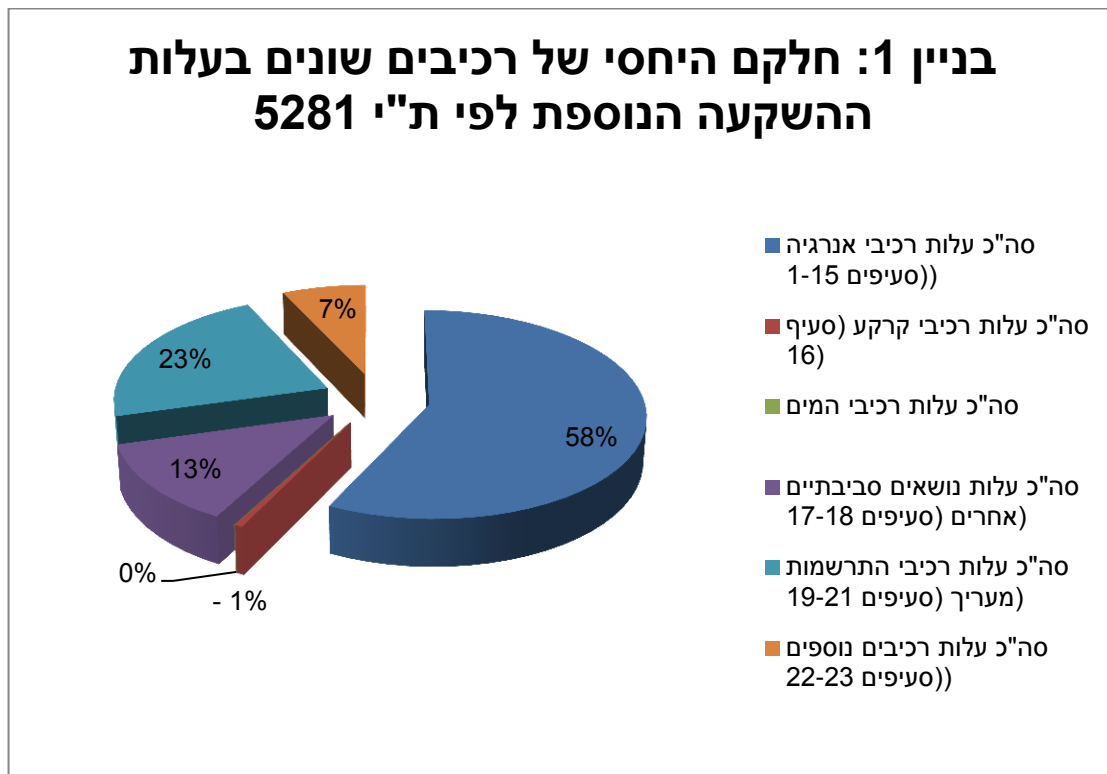
טבלה 4-5. סיכום השוואת עלויות בין בניין 1 ובניין הייחוס

¹⁸⁹ העלויות הן בש"ח של 2011 ללא מע"מ
¹⁹⁰ עלות זו הינה עלות כוללת של ליווי יועצים ירוקים. בעלות נכללים: ניתוח אקלימי, ניתוח העמדת מבנה, כתיבת תוכנית למניעת מפגעים סביבתיים באתר הבנייה, וכתיבת דו"ח ההגשה למכון התקנים

ד. ניתוח הממצאים באופן פרטני

מהממצאים עולה כי סה"כ עלות ההשקעה הנוספת בגין רכיבים ירוקים בבניין 1 לעומת בניין הייחוס באופציה א' הינה 918,366 ₪ (12,084 ₪ לדירה) ובאופציה ב' הינה 1,537,642 ₪ (20,232 ₪ לדירה). העלות הכוללת של בניין 1 הינה 45 מיליון ₪¹⁹¹. אי לכך העלות הנוספת של ההשקעה מהווה 2.1%¹⁹² מעלות הבניין באופציה א' ו 3.5% באופציה ב'. עלות זו תואמת את משרע הממצאים המובאים בסקירת הספרות.

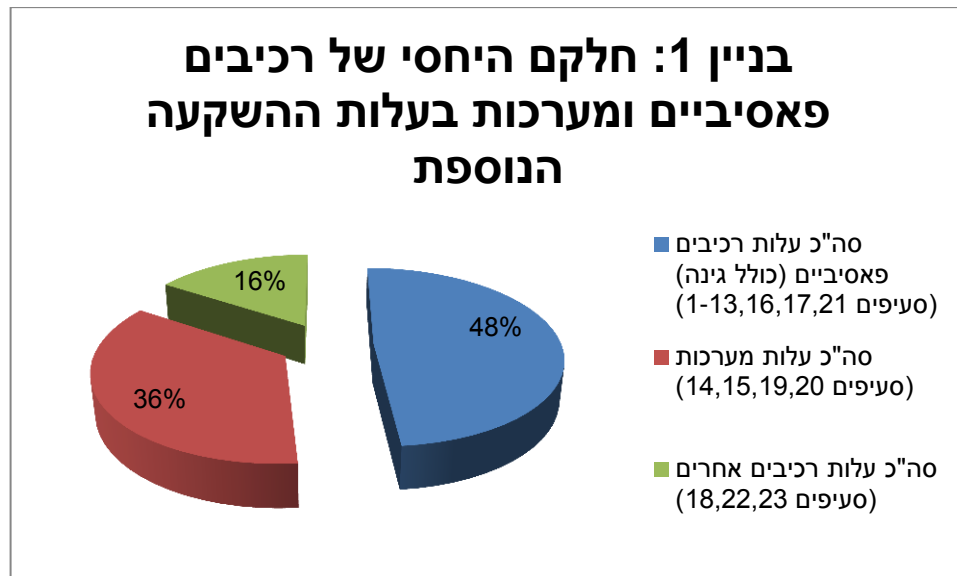
מתוך סך עלות ההשקעה הנוספת באופציה א',¹⁹³ סעיפי ההשקעה העיקריים הם: פיקוד מרכזי לתאורה ומיזוג 16.6%, קירות חיצוניים (כולל ממ"ד) 13.2% ומאווררי תיקרה 11.6%. מניתוח חלקם היחסי של רכיבים שונים (לפי הסעיפים בתקן 5281) בעלות ההשקעה הנוספת בבניין 1 לעומת בניין הייחוס ניתן לראות שההשקעה ברכיבי האנרגיה היא המשמעותית ביותר ומגיעה ל 57% מעלות ההשקעה הנוספת הכוללת,¹⁹⁴ וכן שההשקעה ברכיבי קרקע ומים הינה זניחה:



איור 3-5. חלקם היחסי של רכיבים שונים בעלות ההשקעה הנוספת לפי ת"י 5281

¹⁹¹ לא כולל מע"מ, רווחי יזם, אגרות, מיסים ועלות קרקע
¹⁹² עפ"י החישוב: $2.08\% = (45,000,000 - 918,366) / 45,000,000$
¹⁹³ הניתוח מכאן ואילך מתייחס לעלות ההשקעה הנוספת בבניין 1 לעומת בניין הייחוס באופציה א' בלבד (העמודה המודגשת ברקע אפור) היות ואופציה זו עונה לדרישות תקן 1045 (בידוד תרמי של בניינים) בגרסתו המעודכנת מספטמבר 2011, אשר מרגע כניסתה לתוקף מחייבת כל בניין חדש. כמו כן, אופציה א' הינה בסטנדרט בנייה המתאים לסטנדרט של בניינים קונבנציונליים חדשים הדומים באופן כללי לבניין 1 ולכן היא יותר מתאימה להשוואה מאשר אופציה ב'
¹⁹⁴ עלות ההגשה למכון התקנים כלולה בעלות ליווי יועצים ירוקים (סעיף 1 בטבלה) הנכללת ברכיבי האנרגיה מחד וברכיבים הפאסיביים מאידך. לשם השוואה, בבניין 304 עלות ההגשה הינה 26,000 ₪ (1000 ₪ לדירה) ונכללת בעלות "רכיבים נוספים/אחרים".

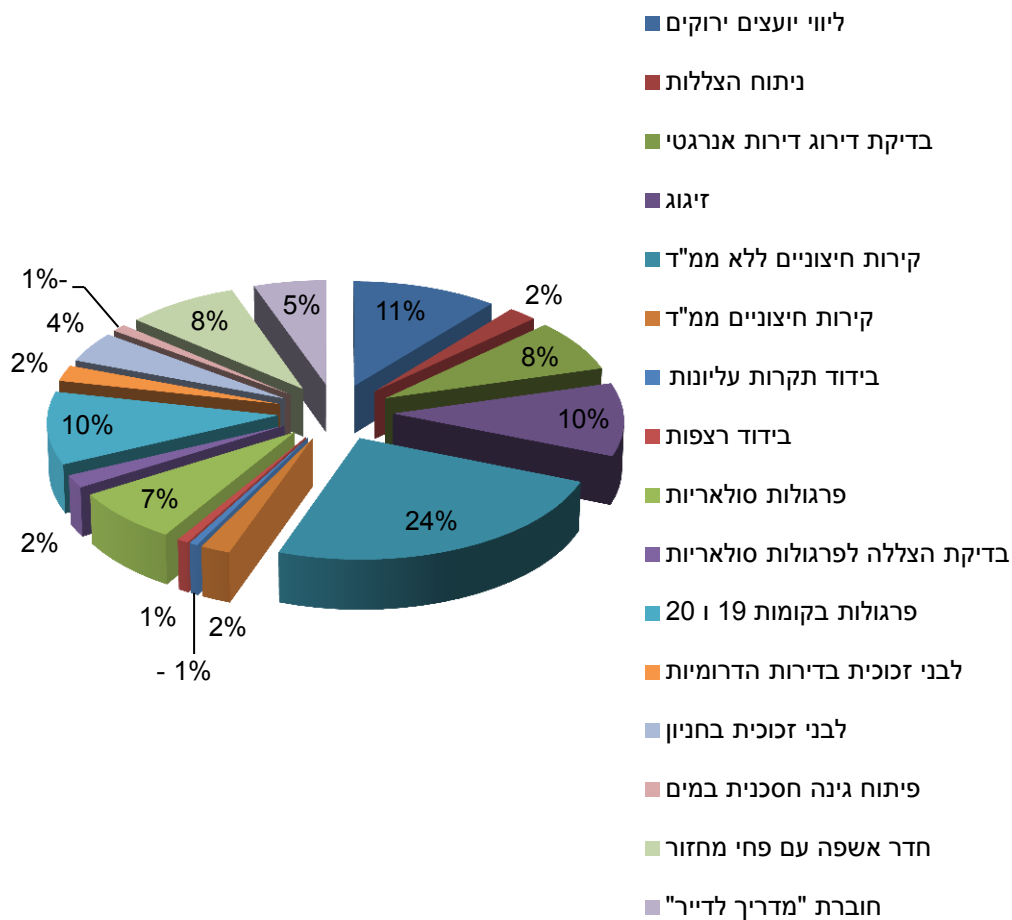
מהשוואת ההשקעה ברכיבים פאסיביים לעומת מערכות מתוך סך ההשקעה הנוספת עולה שההשקעה ברכיבים הפאסיביים הינה המשמעותית ביותר ומגיעה ל 48%:



איור 4-5. חלקם היחסי של רכיבים פאסיביים ומערכות בעלות ההשקעה הנוספת

מניתוח ההשקעות ברכיבים פאסיביים מתוך כלל ההשקעה ברכיבים פאסיביים עולה כי ההשקעות הגדולות ביותר הינן בקירות חיצוניים (כולל ממ"ד) (26%), ליווי יועצים ירוקים (11%), זיגוג (10%) ופרגולות בקומות 19 ו 20 (10%):

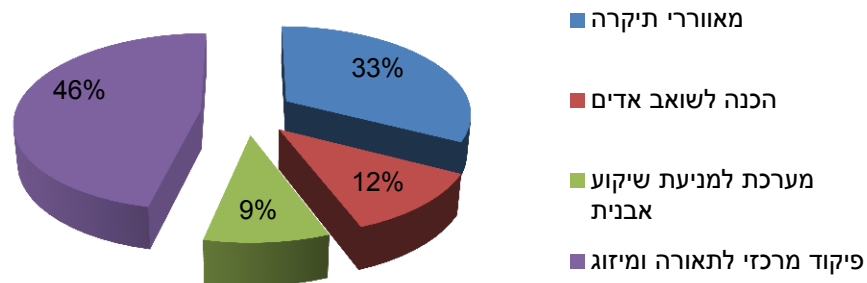
בניין 1: חלקם היחסי של רכיבים פאסיביים מתוך סך ההשקעה ברכיבים פאסיביים



איור 5-5. חלקם היחסי של רכיבים פאסיביים מתוך סך ההשקעה ברכיבים פאסיביים

מניתוח ההשקעות במערכות מתוך כלל ההשקעה במערכות עולה כי ההשקעות הגדולות ביותר הינן פיקוד מרכזי לתאורה ומיזוג (46%) ומאזורי תיקרה (33%):

בניין 1: חלקם היחסי של מערכות מתוך סך ההשקעה במערכות



איור 5-6. חלקם היחסי של מערכות מתוך סך ההשקעה במערכות

ניתוח ההשקעה הנדרשת בבנייני הייחוס בגין עדכון תקן 1045 (בידוד תרמי של בניינים)

195 אחד ההבדלים בין שתי האופציות של בנייני הייחוס הינו שאופציה א' עונה לדרישות תקן 1045 (בידוד תרמי של בניינים) בגרסתו המעודכנת מספטמבר 2011, ואילו אופציה ב' עונה לדרישות תקן 1045 בגרסתו משנת 2003 (להרחבה על בחירה באופציות אלו ראו תחילת סעיף ב בפרק 4). על מנת לבחון את ההשקעה הנדרשת בבנייני הייחוס בגין עדכון תקן 1045, עלויות רכיבי הבידוד השונים אשר יושמו בשני בנייני הייחוס מרוכזים בטבלה הבאה:

¹⁹⁵ מעטפת בנייני הייחוס נבחרה כך שבכפוף ליחס זיגוג בקיר הנתון במבנה הייחוס, סביר שהיא עומדת בדרישות החוק ביניהן עמידה בתקן 1045 לבידוד תרמי, הגם שחישובים תרמיים מפורטים לעמידה בתקן לא נכללו במסגרת מחקר זה. אופן חישוב הבידוד לבנייני הייחוס מפורט בנספח א למחקר

אופציה ב				אופציה א				רכיב הבניין
עלות	אופן חישוב העלות	בידוד	התנגדות תרמית נדרשת לפי תקן 1045 ¹⁹⁷ (2003)	עלות	אופן חישוב העלות	בידוד	התנגדות תרמית נדרשת לפי תקן 1045 ¹⁹⁶ (2011)	
110,361	זהה לאופציה א	פמ"ק בעובי 3 ס"מ	0.55	12.2*9046=110,361	עלות קוב 340 ש"ח כלומר 10.2 ש"ח למ"ר ועוד התקנה 2 ש"ח למ"ר. שטח קיר חיצוני כולל ממ"ד 9046 מ"ר	פוליסטירן מוקצף קשיח (פמ"ק) בעובי 3 ס"מ	0.60	קיר חיצוני
	הבדל עלויות זניח בין האופציות	טיח תרמי 2.5 400 ס"מ	0.30		הבדל עלויות זניח בין האופציות	טיח תרמי 200 בעובי 3 ס"מ	0.45	קיר הפרדה בין דירה לחלל שאינו מחומם/ מקורר
12.2*354=4,319	עלות 10.2 ש"ח למ"ר. עלות התקנה 2 ש"ח למ"ר. שטח: 354 מ"ר	פמ"ק בעובי 3 ס"מ	0.75	22.4*354=7,930	עלות 20.4 ש"ח למ"ר. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר. שטח: 354 מ"ר	פמ"ק בעובי 6 ס"מ	1.50	תקרה עליונה
12.2*230=2,806	עלות 10.2 ש"ח למ"ר. עלות התקנה 2 ש"ח למ"ר. שטח: 230 מ"ר	פמ"ק בעובי 3 ס"מ	0.75	22.4*230=5,152	עלות 20.4 ש"ח למ"ר. עלות התקנה: 2 ש"ח למ"ר. שטח: 230 מ"ר	פמ"ק בעובי 6 ס"מ	1.50	גג מרוצף מעל דירה
2,200	זהה לאופציה א	פמ"ק בעובי 2 ס"מ	0.40	8.8*250=2,200	עלות 6.8 למ"ר. עלות התקנה 2 ש"ח למ"ר. שטח: 250 מ"ר	פמ"ק בעובי 2 ס"מ	0.60	רצפה מעל חללים פתוחים
1,936	זהה לאופציה א	פמ"ק בעובי 2 ס"מ	0.30	8.8*220=1,936	עלות 6.8 למ"ר. עלות התקנה 2 ש"ח למ"ר. שטח: 220 מ"ר	פמ"ק בעובי 2 ס"מ	0.45	רצפה מעל חלל סגור שאינו מחומם/מקורר
121,622	סה"כ לבניין			127,579	סה"כ לבניין			
1,600	סה"כ לדירה			1,679	סה"כ לדירה			

טבלה 5-5. השוואת עלויות רכיבי בידוד בין שני בנייני הייחוס

מההשוואה הנ"ל עולה שסך ההבדל בהשקעה ברכיבי בידוד בין שני בנייני הייחוס הינה 5,957 ש"ח (78 ש"ח לדירה). אין הבדל בהשקעה בבידוד הקירות החיצוניים של שני בנייני הייחוס היות וההבדל בדרישת התקן בין שתי הגרסאות הינו זניח. למעשה ההבדלים נובעים מההשקעה בבידוד תקרה עליונה וגג מרוצף, רכיבים אשר בהם הייתה עלייה משמעותית בדרישת התקן עקב עדכונם. אולם, היות והשטחים של רכיבים אלו בבנייה רוויה, כמו גם בבנייני הייחוס, הינם קטנים ביחס לשטח המעטפת של הבניין, המשמעות הכלכלית של העלייה בדרישות התקן הינה אלפי שקלים בודדים בלבד לבניין כולו.

¹⁹⁶ במ"ר*ק' לוט
¹⁹⁷ במ"ר*ק' לוט

6. ניתוח השוואתי של הממצאים¹⁹⁸

להלן טבלה המשווה את הממצאים העיקריים לגבי עלויות הרכיבים הירוקים בבניין 304 ובבניין 1

נושא	בניין 304	בניין 1
סך עלות ההשקעה הנוספת לעומת בניין הייחוס (אופציה א) עלות הבניין	685,991 ₪ (26,384 ₪ לדירה) 17.5 מיליון ש"ח	918,366 ₪ (12,084 ₪ לדירה) 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 ₪)
חלקם היחסי של רכיבים שונים בעלות ההשקעה הנוספת (וכאחוז מעלות הבניין) לפי תקן 5281:		
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%)
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%)
חלקם היחסי של רכיבים פאסיביים ומערכות בעלות ההשקעה הנוספת (וכאחוז מעלות הבניין):		
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%)
ההשקעות המשמעותיות ברכיבים פאסיביים (מתוך סך ההשקעות ברכיבים פאסיביים)	קירות חיצוניים 31% זיגוג 21%	קירות חיצוניים כולל ממ"ד 26% ליווי יועצים ירוקים 11% זיגוג 10% פרגולות בקומות 19 ו 20 10%
ההשקעות המשמעותיות במערכות (מתוך סך ההשקעות במערכות)	מערכת סולארית 25% פיקוד מרכזי והכנה לבית חכם 22% שימוש במי עיבוי מזגנים להשקיה 14%	פיקוד מרכזי לתאורה ומיזוג 46% מאווררי תיקרה 33%

טבלה 6-1. ניתוח השוואתי של הממצאים

מניתוח השוואתי של הממצאים עולה כי שיעור ההשקעה הנוספת כאחוז מעלות הבניין גבוהה בבניין 304 פי 2 מזו שבבניין 1, ושיעור ההשקעה הנוספת פר דירה גדול בבניין 304 פי 2.2 מאשר בבניין 1. כמו כן, ניכר כי סעיפי ההשקעה העיקריים מתוך סך העלות הנוספת הינם שונים, אך ההשקעה בבידוד קירות חיצוניים מהווה השקעה משמעותית בשני הבניינים. חלקם היחסי של הרכיבים לפי תקן 5281 מתוך סך ההשקעה הנוספת הינו שונה בין שני הבניינים הנבחנו, אך בשניהם עלות רכיבי האנרגיה היא המשמעותית ביותר ומגיעה בשניהם ל 57%-58%

¹⁹⁸ כל העלויות במחקר זה הן ללא מע"מ אלא אם צוין אחרת

מתוך ההשקעה הנוספת. כמו כן, בשני הבניינים עלות רכיבי התרשמות מעריך (המורכבת ברובה המוחלט מעלות מערכות) מגיעה לכ-23% מסך ההשקעה הנוספת. חלקם היחסי של הרכיבים (לפי תקן 5281) כאחוז מעלות הבניין, שונה בין הבניינים וברובם הוא גבוה יותר בבניין 304 מאשר בבניין 1.

בחלוקה לרכיבים פאסיביים, מערכות ואחרים נמצא שיש בין הבניינים שונות בחלקם היחסי של רכיבים אלו מתוך סך ההשקעה הנוספת, אך בשניהם ההשקעה ברכיבים פאסיביים היא המשמעותית ביותר ומגיעה ל 61% מסך ההשקעה הנוספת בבניין 304 ול 48% בבניין 1. חלקם היחסי של אותם רכיבים כאחוז מעלות הבניין שונה בין הבניינים, והיא גבוהה יותר בבניין 304 מאשר בבניין 1 בכל הרכיבים פרט ל"רכיבים אחרים" (ראה טבלה 2-6 הנ"ל) אשר גבוהים יותר בבניין 1 הודות להשקעות בהפרדת פסולת באתר (80,000 ₪) ובשינוי תב"ע (50,000 ₪). בהשקעות המשמעותיות ברכיבים פאסיביים בשני הבניינים בולטת ההשקעה בהרכב חתך קיר חיצוני ובזיגוג.

בהשקעות במערכות קיימת שונות בין הבניינים, אך בשניהם בולטת ההשקעה בפיקוד מרכזי לכיבוי והדלקה של תאורה ומיזוג. עוד ניכר כי בבניין 304 בוצעה השקעה במגוון רחב יותר של מערכות מאשר בבניין 1.

לסיכום, ניכרת שונות בגובה ההשקעה בסעיפים שונים בין שני הבניינים והדבר משקף את הגמישות הקיימת בתקן 5281, אשר מאפשרת לכל יזם לבחור את הרכיבים הירוקים השונים אותם הוא יכול או מעוניין ליישם בבניין בכדי לצבור מספיק נקודות המאפשרות לו לקבל את התקן. עם זאת, **בשני הבניינים נמצא כי ההשקעה בהרכב חתך הקירות החיצוניים נמנית על ההשקעות המשמעותיות ביותר. השקעה זו מהווה חלק מההשקעה ברכיבי האנרגיה (לפי תקן 5281) אשר הינה הגבוהה ביותר (ביחס לשאר סעיפי התקן). עוד נמצא כי ההשקעה ברכיבים פאסיביים גבוהה משמעותית מההשקעה במערכות.**

השוני בשיעור ההשקעה הנוספת בין שני הבניינים

מהניתוח ההשוואתי עולה כי בין הבניינים קיימים הבדלים בשיעור ההשקעה הנוספת כאחוז מעלות הבניין (4.1% בבניין 304 ו 2.1% בבניין 1), ובשיעור ההשקעה הנוספת פר דירה (כ- 26,000 ₪ לדירה בבניין 304 וכ- 12,000 ₪ בבניין 1). סיבות עיקריות להבדלים אלו יכולות להיות בין היתר: 1. השקעה גדולה יותר ברכיבים ירוקים בבניין 304 – ניכר כי בבניין 304 בוצעה השקעה גדולה יותר ברכיבי בנייה ירוקים. אחד ההבדלים המשמעותיים בין הבניינים הוא צורת ה H של בניין 304 אשר הגדילה את מעטפת הבניין בצורה משמעותית, ועל כן הגדילה את ההשקעה בבידוד קירות חיצוניים, בשטחי הזיגוג (מספר חלונות רב יותר) ועוד. צורה זו העניקה לדירות תאורה ואוויר טבעיים טובים יותר (להרחבה ראו סעיף ניתוח העמדת מבנה בתחילת פרק 4). יש לציין שהגדלת מספר כיווני האוויר והחלונות בדירה מעלה את ערכה ומחירה לקונה. רכיב משמעותי נוסף הוא הזיגוג: בבניין 304 נעשה שימוש רב יותר בזגוגיות בידודיות ובזגוגיות ביטחון מאשר בבניין 1. כמו כן בבניין 304 בולטת ההשקעה במערכות רבות יותר.

2. יתרון לגודל – כפי שהוזכר לעיל, בניין 1 וכלל הפרויקט בנתניה, גדולים בצורה משמעותית מבניין 304 והפרויקט בנס ציונה, וכן היזם של בניין 1 גדול משמעותית מהיזם של בניין 304. היתרון לגודל יכול לצמצם את העלויות הקבועות בגין רכיבים ירוקים פר דירה/בניין שיש לשני היזמים, כמו למשל עלויות תכנון ביו אקלימי (ניתוח אקלימי, ניתוח העמדת מבנה, ניתוח הצללות), כתיבת דו"ח הגשה למכון התקנים, פיתוח גינה חסכנית במים ועוד. כתיבת דו"ח ההגשה למכון התקנים למשל, סביר שעלותה היא פר בניין, וכך ככל שיש יותר דירות בבניין, עלותה פר דירה הולכת וקטנה. בנוסף, היתרון לגודל יכול לשפר את עמדת המיקוח של היזם של בניין 1 (או של קבלן הביצוע של הבניין) מול קבלני משנה וספקי חומרי בנייה.
3. עלות כניסה לשוק – היות ובניין 304 הינו הבניין הירוק הראשון שבונה היזם, יתכן שהיו לו עלויות כניסה לשוק כגון התלמדות וצבירת ידע, בניית מוניטין ועוד. עבור היזם של בניין 1 זהו אינו פרויקט הבנייה הירוקה הראשון שלו, כך שסביר להניח שלא היו לו עלויות כניסה לשוק בגין בניין זה, או שהן היו נמוכות.

השוני במחירי רכיבים ירוקים זהים בין שני הבניינים

בנוסף, מממצאי עלות ההשקעה הנוספת ברכיבים ירוקים שונים בפרקים 4 ו 5, עולה כי מחירי השוק של רכיבים ירוקים אינם אחידים וקיימים מספר הבדלים בעלויות של רכיבים זהים בין בניין 304 לבניין 1 כאשר הגדולים מבין הבניינים מובאים בטבלה להלן:

עלות בש"ח בבניין 1	עלות בש"ח בבניין 304	רכיבים ירוקים
60,000	65,000	ניתוח אקלימי, הצללות והעמדת מבנה, כתיבת תכנית לניהול סביבתי של אתר הבנייה והגשה למכון התקנים
5,000 לכל בדיקה	4,000 לבדיקה מרשמית + 7,000 לבדיקה תפקודית	בדיקת דירוג בניינים לפי צריכת אנרגיה עפ"י תקן 5282
400 לקוב	525 לקוב	פוליסטירן משוחל
70 ש"מ לעובי 2.5 ס"מ	45 ש"מ לעובי 3 ס"מ	טיח תרמי 400 (כולל עבודה)
2,000 לדירה	1,800 לדירה כולל הכנה לבית חכם	פיקוד מרכזי לכיבוי והדלקה של תאורה ומיזוג
46,200 לכל שלושת הבניינים (15,400 לבניין 1)	25,000	אגרה למכון התקנים

טבלה 6-2. השוואת עלויות של רכיבי בנייה ירוקים זהים בין בניין 304 ובניין 1

הסיבות להבדלים הנ"ל יכולות להיות בין היתר:

1. מחיר שונה כתלות בגודל ההזמנה והזמנות עתידיות – ככל שפרויקט הבנייה גדול יותר והיזם מזמין כמויות גדולות יותר של רכיב מסוים, העלות של אותו רכיב פר קוב/מ"ר עשויה לרדת. בבניין 1 המתנשא לגובה של 20 קומות, יש פי 3 דירות וקומות מאשר בבניין 304 המתנשא לגובה של 7 קומות בלבד. כמו כן, בפרויקט כולו (פרויקט פיור בנתניה) ייבנו פי 1.7 דירות מאשר

בפרויקט אליו שייך בניין 304 (פרויקט ארגמן בנס ציונה). בנוסף, היזם אשר בנה את בניין 1 הינו יזם בנייה גדול יותר מזה אשר בנה את בניין 304, ויש לציין שהחברה הקבלנית המבצעת בבניין 1 שייכת למעשה לאותה קבוצת חברות אשר אליהן שייך היזם (כלומר היזם והקבלן המבצע בבניין 1 הן חברות אחיות השייכות לאותה חברת אם).

2. יכולת מיקוח

3. חוסר תחרותיות בשוק – ככל שיש יותר תחרותיות בשוק, הולך ומצטמצם פער המחירים בין הספקים השונים

עם זאת ניכר כי לשוני במחירי הרכיבים הנ"ל אין השפעה משמעותית על הבדלי ההשקעה הנוספת בין שני הבניינים.

7. החיסכון הנדרש להחזרת ההשקעה הנוספת

נושא החיסכון הצפוי מבנייה ירוקה משמש טיעון משמעותי בעד כדאיותה של בנייה ירוקה, אשר אמורה, בין יתר התועלות הצומחות ממנה, להביא לחיסכון ישיר בהוצאות הדיירים על צריכת אנרגיה ומים. נושא חשוב זה לא נכלל במסגרת המחקר הנוכחי ויש להקדיש לו מחקרים עתידיים. בכדי להעריך את החיסכון הצפוי ניתן להיעזר במידול ממוחשב של הבניין הנבחר כולו, ולהעריך כמה הוא עשוי לחסוך ביחס לבניין ייחוס קונבנציונלי. בכדי להעריך את החיסכון בפועל ניתן לאסוף נתונים אודות צריכת החשמל והמים של הדיירים בבניינים ירוקים, ולהשוות אותם לנתוני צריכה של דיירים בדירות קונבנציונליות דומות.

אולם, גם ללא נתונים אלו, ובכדי להעניק לקורא קנה מידה כללי של החיסכון הכמותי הנדרש, ניתן לחשב את החיסכון הנדרש בצריכת אנרגיה ומים בכדי להחזיר את ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה. בטבלה להלן, תסריט א' מציג את כמות החשמל שיש לחסוך בכדי להחזיר את ההשקעה, תחת הנחות של מחירים קבועים, ללא שיעור ניכיון, ובלי חסכון בצריכת מים. כך למשל, תחת הנחות תסריט זה, על כל דירה בבניין 304 לחסוך בממוצע בחודש 144 קוט"ש. תסריט ב' מציג את החיסכון הנדרש בהנחה ש-90% מערך החיסכון יבוא מהפחתה בצריכת אנרגיה ו-10% מהפחתה בצריכת מים. כך למשל, על כל דירה בבניין 304 לחסוך בממוצע בחודש 130 קוט"ש ו-0.61 קוב מים. כל החישובים מבוססים על תקופה של 30 שנה, בתעריף חשמל בסך 0.5083 ש"ח לקוט"ש, ובתעריף הגבוה למים בסך 11.97 ש"ח לקוב מים (מחירי מים וחשמל לצרכן ללא מע"מ נכון ליולי 2012).¹⁹⁹

תסריט א'		תסריט ב'		
אנרגיה 100%	אנרגיה 90%	מים 10%		
22,866	20,580	2,287	סך כל תוספת ההשקעה בבניין בש"ח חלקי 30 שנה	בניין 304
44,986	40,487	191	החיסכון הנדרש מהבניין כולו בקוט"ש/קוב לשנה	
1,730	1,557	7.3	החיסכון הממוצע הנדרש מדירה בקוט"ש/קוב לשנה	
144	130	0.61	החיסכון הממוצע הנדרש מדירה בקוט"ש/קוב לחודש	
30,612	27,551	3,061	סך כל תוספת ההשקעה בבניין בש"ח חלקי 30 שנה	בניין 1
60,225	54,202	256	החיסכון הנדרש מהבניין כולו בקוט"ש/קוב לשנה	
792	713	3.4	החיסכון הממוצע הנדרש מדירה בקוט"ש/קוב לשנה	
66	59	0.3	החיסכון הממוצע הנדרש מדירה בקוט"ש/קוב לחודש	

טבלה 7-1. החיסכון הנדרש בכדי להחזיר את ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה (עם מחירים קבועים, ללא שיעור ניכיון, ועם תקופת החזר של 30 שנה)

¹⁹⁹ המחיר לחשמל נלקח מחברת החשמל 2012, [תעריפי החשמל לאספקה במתח נמוך מ 1.4.12](#), מאתר חברת החשמל המחיר למים נלקח מרשות המים 2012, תעריפים, [באתר רשות המים](#)

ניתן לחשב את החיסכון הנדרש גם תחת הנחות ריאליות יותר כגון מחיר עולה לחשמל ומים ושיעור ניכיון. ניתוח המחירים הריאליים של חשמל (מחיר הנומינלי מותאם לאינפלציה במשק), מראה שבתקופה של 10 שנים בין יולי 2002 ויולי 2012, המחיר הריאלי לקוט"ש עלה בממוצע ב-0.8% בשנה, ואילו המחיר הריאלי של התעריף הגבוה של מים עלה בתקופה של 15 שנים בין יולי 1997 ליולי 2012 בממוצע ב-4.37%²⁰⁰. הטבלה להלן מציגה את החיסכון הנדרש בהנחה שמחירי החשמל והמים ימשיכו לעלות בקצב הנ"ל, עם שיעור ניכיון של 3% ותקופת החזר של 30 שנה.

תסריט ב'		תסריט א'		
מים 10%	אנרגיה 90%	אנרגיה 100%		
2,287	20,580	22,866	סך כל תוספת ההשקעה בבניין בש"ח חלקי 30 שנה	בניין 304
156	54,536	60,595	החיסכון הנדרש מהבניין כולו בקוט"ש/קוב לשנה	
6.0	2,098	2,331	החיסכון הממוצע הנדרש מדירה בקוט"ש/קוב לשנה	
0.5	175	194	החיסכון הממוצע הנדרש מדירה בקוט"ש/קוב לחודש	
3,061	27,551	30,612	סך כל תוספת ההשקעה בבניין בש"ח חלקי 30 שנה	בניין 1
208	73,009	81,121	החיסכון הנדרש מהבניין כולו בקוט"ש/קוב לשנה	
2.7	961	1,067	החיסכון הממוצע הנדרש מדירה בקוט"ש/קוב לשנה	
0.2	80	89	החיסכון הממוצע הנדרש מדירה בקוט"ש/קוב לחודש	

טבלה 2-7. החיסכון הנדרש בכדי להחזיר את ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה (עם עליית מחירים, שיעור ניכיון של 3%, ותקופת החזר של 30 שנה)

מניתוח זה עולה כי בהנחה שמחירי חשמל ומים ימשיכו לעלות כפי שעלו בשנים האחרונות, עם שיעור ניכיון של 3%, ובהתאם להנחה בה 90% מהחיסכון מקורו בחיסכון בחשמל ו-10% מקורו בחיסכון במים (תסריט ב'), על כל דירה לחסוך בממוצע בחודש 175 קוט"ש ו-0.5 קוב מים בבניין 304, ו-80 קוט"ש ו-0.2 קוב מים בשנה בבניין 1.²⁰¹ לשם השוואה, צריכת חשמל חודשית ממוצעת למשק בית בישראל ב-2010 הייתה 635 קוט"ש,²⁰² וצריכת מים ממוצעת למשק בית ב-2010 הייתה 13.3

²⁰⁰ החישובים אודות התייקרות המחיר הריאלי של חשמל התבססו על מחיר קוט"ש ללא מע"מ ביולי 2002 בסך 0.3778 ₪ (המחיר הישן ביותר הזמין באתר חברת חשמל). מתוך: חברת החשמל 2002, [תמצית תעריפי החשמל לאספקה במתח נמוך מ 5.7.2002](#), באתר חברת חשמל - פרטי התעריפים הקודמים. מחיר זה הושווה למחיר יולי 2012 בסך 0.5083 ₪ (תעריפי החשמל לאספקה במתח נמוך מ 1.4.12), ותוקן לעליית המחירים במשק עפ"י הלמ"ס בכדי לחשב את העלייה הריאלית במחיר.

החישובים אודות התייקרות המחיר הריאלי של מים התבססו על מחיר קוב מים ללא מע"מ ביולי 1997 בסך 4.25 ₪ מנתונים שנמסרו לידינו ע"י חטיבת הכלכלה של רשות המים (רשות המים 2012, תעריפי מים עדכניים לאורך זמן, חטיבת הכלכלה). מחיר זה הושווה למחיר יולי 2012 בסך 11.97 ₪ (רשות המים 2012, תעריפים, באתר רשות המים) ותוקן לעליית המחירים במשק עפ"י הלמ"ס בכדי לחשב את העלייה הריאלית במחיר. יש לציין שמשטר תעריפי מים השתנה בתקופה זו, ומספר מדרגות התעריפים ירד מ-3 ל-2.

²⁰¹ ההבדל בדרישות החיסכון בין הבניינים נובע מהשונויות בעלות ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה בין הבניינים ²⁰² חברת החשמל 2011. דין וחשבון סטטיסטי 2010, עמ' 32.

קוב.²⁰³ במלים אחרות, תחת ההנחות בתסריט ב', ההשקעה הנוספת בבנייה ירוקה מחזירה את עצמה עם חסכון ממוצע של 27.5% באנרגיה ו-3.8% במים במקרה של בניין 304, ועם חסכון ממוצע של 12.6% באנרגיה ו-1.7% במים במקרה של בניין 1.

²⁰³ נתונים אודות סה"כ צריכת מים במגורים בסך 346,254,106 קוב נלקחו מדאובר 2011 ע"מ 12. בכדי לחשב צריכת מים ממוצעת למשק בית, נתון זה חולק במספר משקי הבית בשנת 2010 (למ"ס 2012, שנתון סטטיסטי לישראל 2012. לוח 5.1)

8. סיכום ומסקנות

רקע

בעשור האחרון אנו עדים להתעניינות הולכת וגוברת בבנייה ירוקה בישראל, אולם תחום זה הינו חדש יחסית ונמצא עדיין בצעדיו הראשונים. קיים מספר הולך וגדל של בניינים אשר הוסמכו על פי התקן הישראלי לבנייה ירוקה 5281, אך טרם הצטברה מסה קריטית של בניינים ירוקים כך שעדיין אי אפשר להצביע על השפעה משמעותית על שוק הנדל"ן בישראל. אחד מהחסמים בישראל ובחול"ל ליישום נרחב של בנייה ירוקה הוא אי הוודאות לגבי העלויות והכדאיות הכלכלית של שיטת בנייה זו בהשוואה לשיטות קונבנציונליות. בעוד בחול"ל קיימים מספר מחקרים אשר בדקו והשוו בין עלויות ותועלות של בנייה ירוקה ובנייה קונבנציונלית, בארץ כמעט ולא נעשו עבודות אמפיריות שניתחו את הנושא. מטרתו של מחקר זה הינה להתחיל לחקור ולאמוד את העלויות הכלכליות של בנייה ירוקה בישראל, ולבנות בסיס נתונים לעלויות אלו. המחקר מנתח את העלויות הכלכליות של בנייה ירוקה ומשווה אותן לעלויות של בנייה קונבנציונלית, בהתבסס על שני מקרי מבחן של בנייני מגורים אשר קיבלו תו ירוק לפי תקן 5281. בכך העבודה עוזרת לזהות באיזו מידה ובאיזה אופן נבדלות עלויות הבנייה הירוקה מבנייה קונבנציונלית הרווחת בשוק. מידע זה עשוי להיות שימושי למספר רב של בעלי עניין, לרבות יזמים, צרכנים, דיירים, מקבלי החלטות וקובעי מדיניות. כאמור, אנו מקווים שמחקר זה, שהינו חלוצי מסוגו בישראל, יהווה בסיס לאיסוף מידע על פרויקטים נוספים שייבנו, וזאת ע"י אימוץ המתודולוגיה המוצעת, לכדי יצירת מאגר מידע רחב בתחום עלויות הבנייה הירוקה בישראל לצרכיהם השונים של בעלי העניין בתחום.

עיקרי סקירת הספרות

ממחקרים בחול"ל עולה, שסקרים שונים שנערכו בקרב קבלנים ומומחים אחרים אשר עוסקים בבנייה ירוקה, מצאו שעלותה של בנייה ירוקה נחשבת כמכשול משמעותי ליישומה.²⁰⁴ קיימת דעה רווחת בקרב יזמים שבנייה ירוקה יקרה משמעותית מבנייה קונבנציונלית, ויזמים העריכו שעלותה תהיה גבוהה ב- 17% בממוצע מזו של בנייה קונבנציונלית.²⁰⁵ אולם מחקרים רבים שבדקו את הנושא במדינות שונות, מצאו שבממוצע תוספת העלות של בנייה ירוקה (פרמיית עלות) הינה בין 1-3% בלבד, וכמה מהמחקרים מצאו שכלל אין הבדל בעלויות בין בנייה ירוקה לקונבנציונלית. תוספת העלות לבניינים שקיבלו תקן ירוק בדירוג גבוה (למשל LEED silver ומעלה) נמצאה גבוהה יותר ונעה בין 1-11% (להרחבה ראו למשל טבלה 1-2 בפרק סקירת הספרות).

מתודולוגיה ושלבי מחקר

המתודולוגיה אשר לפיה בוצע המחקר הנוכחי מתבססת על בחינה של העלויות בפועל לפי הצהרות היזמים של רכיבים ירוקים אשר הוטמעו במקרי המבחן (ושונים בעלותם מרכיבים בבנייה

²⁰⁴ 2008, World Green Building Council

²⁰⁵ World Business Council on Sustainable Development 2007. נתון ה- 17% הינו ממוצע. בהודו למשל העריכו שבנייה ירוקה תהיה יקרה יותר ב 11% לעומת בנייה קונבנציונלית, ובסין ההערכות הגיעו עד ל 28%.

קונבנציונלית²⁰⁶) והשוואתן להערכת העלויות בבניין ייחוס קונבנציונלי. כפי שצוין בסקירת הספרות, יתרונותיה של מתודולוגיה זו הינם:

- הסתמכות על עלויות בפועל של רכיבים ירוקים הינה מדויקת יותר בהשוואה להסתמכות על הערכת עלויות של רכיבים אלו.
- הסתמכות על הערכת עלויות של רכיבים בבנייה קונבנציונלית הינה מדויקת יחסית לאור הניסיון הרב שיש ליזמים ולקבלנים בבנייה זו.
- אין צורך בבסיס נתונים רחב אודות בניינים ירוקים רבים, בסיס אשר אינו קיים עדיין בישראל כיוון שבארץ הוסמכו עד היום מספר מועט של מבנים.

המחקר בוצע בשלושה שלבים:

בשלב הראשון זוהו בבניין הנבדק הרכיבים הנחשבים כירוקים, על-פי הסעיפים המפורטים בתקן 5281. עבור כל הרכיבים הללו נאספו מהיזמים נתוני עלותם בפועל. נתוני עלות אלו נבדקו ע"י יועץ חיצוני,²⁰⁷ אנשי מקצוע שונים החברים במועצה הישראלית לבנייה ירוקה, ובמידת הצורך הושוּו למחירי שוק של ספקים שונים מתחום הבנייה. שלב זה מהווה שלב עיקרי במחקר.

בשלב השני בוצעה השוואה בין העלות בפועל של הרכיבים הירוקים בבניינים הנבדקים, לבין הערכה של עלות לרכיבים מקבילים (במידה והיה צורך בכך) בבנייה קונבנציונלית.²⁰⁸ חישוב זה נותן את עלות ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה בהשוואה לבניין ייחוס שנבנה בצורה קונבנציונלית עבור כל אחד מהרכיבים.

בשלב השלישי בוצע ניתוח של הממצאים באופן פרטני ואח"כ בוצע ניתוח השוואתי בין שני מקרי המבחן.

עיקרי הממצאים ומסקנות

מהמחקר עולה שסך ההשקעה הנוספת בגין רכיבים ירוקים בבניין 304 ובבניין 1 הינה 685,991 ₪ ו-918,366 ₪ בהתאמה, ושיעורה ביחס לעלות הבניינים הוא 4.1% ו-2.1% בהתאמה. עלות זו תואמת את משרע הממצאים ממחקרים דומים בחו"ל.²⁰⁹ סך ההשקעה הנוספת בממוצע לדירה הינה 26,384 ₪ בבניין 304 ו-12,084 ₪ בבניין 1.

א. ניתוח פרטני (ראה טבלה 6-1)

מניתוח הממצאים של בניין 304 עולה כי סעיפי ההשקעה העיקריים כאחוז מסך עלות ההשקעה הנוספת (באופציה א'), הינם: הרכב חתך קירות חיצוניים (18%) וזיגוג (13%). מניתוח חלקם היחסי של רכיבים שונים (לפי הסעיפים בתקן 5281) כאחוז מההשקעה הנוספת ניתן לראות בבירור שההשקעה ברכיבי האנרגיה היא המשמעותית ביותר ומגיעה ל 57% מעלות ההשקעה הנוספת

²⁰⁶ בחישוב נלקחו בחשבון רק אותם רכיבים ירוקים אשר עלותם שונה מרכיבים בבנייה רגילה. כך למשל לא נלקח בחשבון הבטון של הרצפות, אשר משמש כמסה תרמית, היות ומדובר באותו בטון (עובי ועלות) אשר היה משמש בבניין קונבנציונלי

²⁰⁷ מר משה בן חמו, מנכ"ל אלפא פריזמה-חברה לניהול פרויקטים בבנייה

²⁰⁸ הערכת העלויות בבנייה קונבנציונלית התקבלה מחברת אלפא פריזמה-חברה לניהול פרויקטים בבנייה

²⁰⁹ שני הבניינים קיבלו תקן ירוק בדירוג גבוה (מצטיין)

הכוללת. מהשוואת ההשקעה ברכיבים פאסיביים, מערכות ואחרים, מתוך סך ההשקעה הנוספת, עולה שההשקעה ברכיבים הפאסיביים הינה המשמעותית ביותר ומגיעה ל 61%. מניתוח ההשקעות ברכיבים פאסיביים מתוך כלל ההשקעה ברכיבים פאסיביים עולה כי ההשקעות הגדולות ביותר הינן בהרכב חתך קירות חיצוניים (31%) ובזיגוג (21%). מניתוח ההשקעות במערכות מתוך כלל ההשקעה במערכות עולה כי ההשקעות הגדולות ביותר הינן במערכת סולארית (25%), פיקוד מרכזי לתאורה ומיזוג (22%) ושימוש במי עיבוי מזגנים (14%).

מניתוח הממצאים של בניין 1 עולה כי סעיפי ההשקעה העיקריים כאחוז מסך עלות ההשקעה הנוספת (באופציה א'), הינם: פיקוד מרכזי לתאורה ומיזוג (17%), הרכב חתך קירות חיצוניים כולל ממ"ד (13%) ומאווררי תיקרה (12%). מניתוח חלקם היחסי של רכיבים שונים (לפי הסעיפים בתקן 5281) כאחוז מההשקעה הנוספת ניתן לראות בבירור שההשקעה ברכיבי האנרגיה היא המשמעותית ביותר ומגיעה ל 58% מעלות ההשקעה הנוספת הכוללת, וכי ההשקעה ברכיבי קרקע ומים הינה זניחה. מהשוואת ההשקעה ברכיבים פאסיביים, מערכות ואחרים, מתוך סך ההשקעה הנוספת, עולה שההשקעה ברכיבים הפאסיביים הינה המשמעותית ביותר ומגיעה ל 48%. מניתוח ההשקעות ברכיבים פאסיביים מתוך כלל ההשקעה ברכיבים פאסיביים עולה כי ההשקעות הגדולות ביותר הינן בהרכב חתך קירות חיצוניים כולל ממ"ד (26%), ליווי יועצים ירוקים (11%) זיגוג (10%) ובפרגולות בקומות 19 ו 20 (10%). מניתוח ההשקעות במערכות מתוך כלל ההשקעה במערכות עולה כי ההשקעות הגדולות ביותר הינן בפיקוד מרכזי לתאורה ומיזוג (46%) ומאווררי תיקרה (33%).

ב. ניתוח השוואתי

מניתוח השוואתי של הממצאים עולה כי שיעור ההשקעה הנוספת כאחוז מעלות הבניין גבוהה בבניין 304 פי 2 מזו שבבניין 1, ושיעור ההשקעה הנוספת פר דירה גדול בבניין 304 פי 2.2 מאשר בבניין 1. סיבות עיקריות להבדלים אלו יכולות להיות בין היתר:

1. השקעה גדולה יותר ברכיבים ירוקים בבניין 304 – צורת ה H של הבניין, אשר מעניקה לדירות אוורור ותאורה טבעיים טובים יותר, הגדילה משמעותית את שטח המעטפת של הבניין, ועל כן הגדילה את ההשקעה בבידוד קירות חיצוניים ושטחי זיגוג (מספר חלונות). בנוסף, בבניין 304 נעשה שימוש רב יותר בזגוגיות בידודיות ובזגוגיות בטחון, וכן בולטת ההשקעה במערכות רבות יותר.

2. יתרון לגודל – בניין 1 וכלל הפרויקט בנתניה, גדולים בצורה משמעותית מבניין 304 והפרויקט בנס ציונה, וכן היזם של בניין 1 גדול משמעותית מהיזם של בניין 304. היתרון לגודל יכול לצמצם את העלויות הקבועות בגין רכיבים ירוקים פר דירה/בניין שיש לשני היזמים, ולשפר את עמדת המיקוח של היזם (או קבלן הביצוע) של בניין 1 מול קבלני משנה.

3. עלות כניסה לשוק – היות ובניין 304 הינו הבניין הירוק הראשון שבונה היזם, יתכן שהיו לו עלויות כניסה לשוק כגון התלמדות וצבירת ידע, בניית מוניטין ועוד. עבור היזם של בניין 1 זהו אינו פרויקט הבנייה הירוקה הראשון שלו, כך שסביר להניח שלא היו לו עלויות כניסה לשוק בגין בניין זה, או שהן היו נמוכות.

כמו כן, ניכרת שונות בגובה ההשקעה בסעיפים שונים בין שני הבניינים והדבר משקף את הגמישות הקיימת בתקן 5281, אשר מאפשר לכל יזם לבחור את הרכיבים הירוקים השונים אותם הוא מעוניין ויכול ליישם בבניין בכדי לצבור מספיק נקודות המאפשרות לו לקבל את התקן. עם זאת, בשני הבניינים נמצא כי ההשקעה בהרכב חתר קירות חיצוניים נמנית מבין ההשקעות המשמעותיות ביותר, ההשקעה ברכיבי האנרגיה (לפי תקן 5281) הינה הגבוהה ביותר ביחס לשאר סעיפי התקן, וכי ההשקעה ברכיבים פאסיביים גבוהה משמעותית מההשקעה במערכות. עוד נמצא שמבין המערכות בשני הבניינים בולטת ההשקעה בפיקוד מרכזי לתאורה ומיזוג, וכי בבניין 304 בוצעה השקעה במגוון רחב יותר של מערכות מאשר בבניין 1.

ניתוח מחיר דירה ירוקה בהשוואה למחיר דירה קונבנציונלית

חשוב להדגיש שעלות ההשקעה הנוספת בבנייה ירוקה בשיעור מסוים אין משמעותה עליה במחיר הדירה לצרכן באותו שיעור אלא בשיעור נמוך הרבה יותר. הממצאים במחקר זה מצביעים על כך שעלויות ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה בבניין 304 ובבניין 1 הן 4.1% ו 2.1% בהתאמה. אלא שחישוב זה לוקח בחשבון את עלות ההשקעה הנוספת כחלק מעלות הבנייה של הבניין²¹⁰ אשר אינה כוללת עלות קרקע, רווחי יזם, מיסים, אגרות וכד', עלויות אשר כן מגולמות במחיר הדירה לצרכן. השאלה בכמה דירה ירוקה תהיה יקרה יותר מדירה קונבנציונלית נותחה משתי זוויות שונות:

א. עלות הקרקע ורכיבי המיסים השונים מוערכים בכ- 50% ממחירי הדירות בישראל (רכיב הקרקע המפותחת מגיע לכ- 30% ממחיר הדירה ורכיב המיסים השונים – מע"מ, מס רכישה, מס שבח, היטל השבחה ודמי היתר על קרקעות ממ"י – מגיע לכ- 20% ממחיר הדירה).²¹¹ אם נניח לצורך הדוגמא שאכן עלות הבנייה בבניינים אלו מהווה 50% מהמחיר הכולל של הבניין לצרכן, הרי שתוספת העלות לצרכן בגין ההשקעה בבנייה ירוקה הינה 2% בלבד ממחיר הדירה בבניין 304 ו 1% בבניין 1.

ב. מממצאי המחקר עולה שעלות ההשקעה הנוספת הממוצעת לדירה (כולל מע"מ בשיעור 16%)²¹² בגין בנייה ירוקה בבניין 304 הינה 30,605 ₪, ובבניין 1 הינה 14,017 ₪. בהנחה שרווח היזם (בדירות ירוקות וקונבנציונליות) הוא 8%, בטבלה הבאה נמצאות הערכות לגבי שיעור התייקרות הדירה בגין ההשקעה הירוקה שבוצעה בה, וזאת ביחס ל-3 מחירים שונים של דירה ירוקה בבניינים הנבחנו:

²¹⁰ עלות הבנייה של בניין 304 היא 17.5 מיליון ש"ח ושל בניין 1 היא 45 מיליון ₪. חישוב עלות ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה עבור בניין 1 למשל הוא: $2.08\% = (918,366 - 45,000,000) / 45,000,000$
²¹¹ חקלאי רן 2009, תמלוגים עבור חומרי גלם למשק הבנייה והסלילה ניתוח מצב קיים והמלצות למדיניות, ע"מ 32
²¹² שיעור המע"מ בשנת 2011 היה 16%

מחיר דירה ירוקה ממוצעת לצרכן בבניינים הנבחרים	1,000,000 ש"ח	1,500,000 ש"ח	2,000,000 ש"ח
שיעור ההתייקרות של הדירה בגין ההשקעה הירוקה בבניין 304	3.42%	2.25%	1.68%
שיעור ההתייקרות של הדירה בגין ההשקעה הירוקה בבניין 1	1.54%	1.02%	0.76%

כלומר, תחת ההנחות הנ"ל ובמידה ומחיר דירה ממוצעת לצרכן בבניינים הנבחרים הינו 1.5 מיליון ₪, אזי הדירה התייקרה בשיעור של 2.25% בבניין 304 וב- 1% בבניין 1 בגין ההשקעה הנוספת ברכיבים ירוקים.

לשם השוואה, עפ"י הערכת התאחדות בוני הארץ (לשעבר התאחדות הקבלנים), תוספת עלות של 5.1% מסך עלויות הבנייה של דירה טיפוסית בגין בנייה ירוקה, תהווה תוספת של 1.7% בלבד ממחיר הדירה.²¹³ עם זאת, יש לציין שניתוח התאחדות בוני הארץ מתייחס לתקן 5281 בגרסתו החדשה משנת 2011, בעוד המחקר הנוכחי מתייחס לתקן בגרסתו משנת 2005.

לסיכום, הניתוחים הנ"ל מצביעים על כך שהפרש המחיר בין דירה ירוקה לקונבנציונלית נע סביב 2% בלבד בבניין 304 וסביב 1% בלבד בבניין 1.

בנוסף, היות וענף הבנייה הירוקה בישראל נמצא בראשיתו, יתכן וחלק מהעלויות ליזם אשר נסקרו במחקר, הינן עלויות חד פעמיות של התלמדות וכניסה לשוק. סביר גם להניח שבעתיד התחרותיות בענף תגדל והטכנולוגיות ישתכללו, ומטעמים אלו ניתן להניח שהעלויות הנוספות בגין בנייה ירוקה לפי תקן 5281 בגרסתו משנת 2005 ירדו בעתיד. מצד שני, היות ותקן 5281 בגרסתו החדשה משנת 2011 הינו מפורט ותובעני יותר, ייתכן והדבר יתבטא שוב בעלויות גדולות יותר בגין בנייה ירוקה (בעיקר בשלבים הראשונים ליישום התקן), ולכן בשלב זה קשה להעריך האם בסה"כ עלויות ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה ירדו או יעלו בעתיד.

ניתוח החיסכון הנדרש להחזרת ההשקעה הנוספת

על אף שמסגרת המחקר הנוכחי לא כללה סקירה מקיפה של תועלות מבנייה ירוקה, נערך ניתוח של החיסכון הנדרש בצריכת חשמל ומים על-מנת להחזיר את ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה בפרק זמן של 30 שנה.²¹⁴ מניתוח זה עולה כי בהנחה שמחירי חשמל ומים ימשיכו לעלות כפי שעלו בשנים האחרונות,²¹⁵ שער ניכין של 3%, ובהתאם להנחה לפיה 90% מהחיסכון מקורו בחיסכון בחשמל ו 10% מקורו בחיסכון במים, על כל דירה לחסוך בחודש בממוצע 175 קוט"ש ו 0.5 קוב מים בבניין 304, ו 80 קוט"ש ו- 0.2 קוב מים בשנה בבניין 1.

²¹³ לזר זיו וחילו נתן 2012, כיצד קובעים מהי בנייה ירוקה וכמה זה עולה?, התאחדות בוני הארץ

²¹⁴ לפירוט ראה פרק 7: החיסכון הנדרש להחזרת ההשקעה הנוספת

²¹⁵ הניתוח התייחס לשנים 2002-2012 עבור מחירי חשמל, ולשנים 1997-2012 עבור מחירי מים

בהשוואה לצריכה הממוצעת בישראל, בכדי להחזיר את ההשקעה הנוספת בבנייה ירוקה בפרק זמן של 30 שנה, נדרש חיסכון של 27.5% באנרגיה ו-3.8% במים במקרה של בניין 304, וחיסכון של 12.6% באנרגיה ו-1.7% במים במקרה של בניין 1. (להרחבה ולתרחישים נוספים ראו פרק 7).

מגבלות המחקר והמלצות למחקרי המשך

חשוב לציין כי קיימים אספקטים כלכליים משמעותיים של בנייה ירוקה הן לדייר והן ליזם אשר מסגרת המחקר הנוכחי לא כללה, וביניהם:

- תועלות כלכליות מבנייה ירוקה – חסכון ישיר לדיירים בצריכת אנרגיה ומים;
- צמצום תחלואה בקרב דיירים – הודות לתאורה טבעית, אוורור טבעי מוגבר, שימוש בחומרים ידידותיים לאדם ועוד²¹⁶;
- הקטנת עלויות סביבתיות חיצוניות כגון פסולת בניין, זיהום אוויר ועוד;
- הבדלים במחירי הדירה לצרכן;
- הבדלים בקצב מכירה ואכלוס הבניינים;
- הבדלים במתן אשראי על-ידי בנקים ומקומות מימון אחרים.

לאור החשיבות הרבה של בנייה ירוקה ולאור הגידול הצפוי בבניינים ירוקים בישראל, מומלץ לקיים מחקרי המשך אשר יבחנו את התועלות הכלכליות מבנייה ירוקה. בכדי להעריך את החיסכון הצפוי באנרגיה ניתן למשל להיעזר בבדיקה תפקודית על-יד מודל ממוחשב של הבניין הנבחן כולו, ולהעריך כמה הוא עשוי לחסוך. בכדי להעריך את החיסכון בפועל ניתן לאסוף נתונים אודות צריכת החשמל והמים של הדיירים בבניינים ירוקים, ולהשוות אותם לנתוני צריכה של דיירים בדירות קונבנציונליות דומות.

בכדי להעריך את התועלות ליזמים מבנייה ירוקה, מומלץ לבצע מחקרים אשר יבדקו את ההבדלים בקצב המכירה והאכלוס של בניינים ירוקים, מחירי הדירות והמשרדים לצרכן במכירה ובהשכרה, והבדלים במתן אשראי לפרויקטים של בנייה ירוקה לעומת בנייה קונבנציונלית.

בנוסף, בכדי לבסס את הממצאים אשר עלו ממחקר זה אודות העלות הנוספת בגין בנייה ירוקה, ועל מנת להרחיב את מאגר המידע שנבנה, מומלץ להמשיך ולערוך מחקרי המשך הדומים במהותם למחקר הנוכחי. כיוון שתקן 5281 עבר רפורמה מקיפה בשנת 2011, מומלץ לערוך מחקרים גם ובעיקר אודות בניינים אשר הוסמכו לפי התקן במתכונתו החדשה. כמו כן, במקום להשוות לבניין ייחוס תיאורטי, ניתן להשוות בניינים ירוקים לבנייני ייחוס קונבנציונליים שקיימים בפועל במידה והם דומים ברמה מספיקה לבניינים הירוקים.

²¹⁶ במידה ומחקרי המשך יבחנו למשל בנייני משרדים או מוסדות חינוך ירוקים מומלץ לבדוק בנוסף גם שינויים בפרודוקטיביות בקרב העובדים והתלמידים

9. ביבליוגרפיה

- Addae-Dapaah, K. and S. J. Chieh. 2011. Green Mark Certification: Does the Market Understand? *Journal of Sustainable Real Estate* 3(1): 162-191.
- Addae-Dapaah, K., T. K. Wai, M. J. Bin Dollah, and Y. Foo. 2010. Indoor Air Quality and Office Property Value. *Journal of Sustainable Real Estate* 2(1): 91-115.
- Bloom, Bryan, MaryEllen C. Nobe, and Michael D. Nobe. 2011. Valuing Green Home Designs: A Study of ENERGY STAR Homes. *Journal of Sustainable Real Estate* 3(1): 109-126.
- Brounen, D. and N. Kok. 2011. On the Economics of Energy Labels in the Housing Market. *Journal of Environmental Economics and Management* 62 (2): 166–179.
- Carliner, M., L. Bowles, and J. Nebbia. 2008. *The Valuation of Energy Efficiency in Homes*. Report prepared for: Washington, DC: U.S. Department of Housing and Urban Development, December 2008.
- Das, P., A. Tidwell, and A. Ziobrowski. 2011. Dynamics of Green Rentals over Market Cycles: Evidence from Commercial Office Properties in San Francisco and Washington DC *Journal of Sustainable Real Estate* 3(1): 1-22.
- David and Lucille Packard Foundation. 2002. "Building For Sustainability: Six Scenarios for the Los Altos Project."
- Davis Langdon. 2004. Costing green: a comprehensive database and costing methodology. The Davis Langdon Research Group.
- Davis Langdon. 2006. Cost of green revisited: re-examining the feasibility and cost impact of sustainable design in the light of increased market adoption. The Davis Langdon Research Group.
- Davis Langdon. 2007a. Cost of green revisited: re-examining the feasibility and cost impact of sustainable design in the light of increased market adoption. The Davis Langdon Research Group.
- Davis Langdon. 2007b. The costs and benefits of achieving green buildings. The Davis Langdon Research Group.
- Deuble,, M.P. and de Dear, J. 2012. Green occupants for green buildings: The missing link? *Building and Environment* 56: 21-27.
- Dinan, T.M. and J.A. Miranowski. 1989/ Estimating the Implicit Price of Energy Efficiency Improvements in the Residential Housing Market: A Hedonic Approach. *Journal of Urban Economics*, 25: 52–67.
- Eichholtz, P., N. Kok and J. Quigley. 2009. Doing Well By Doing Good? Green Office Buildings. Working Paper. University of California—Berkeley, Berkeley, CA.

- Ellison, L., S. Sayce and J. Smith. 2007. Socially Responsible Property Investment: Quantifying the Relationship between Sustainability and Investment Property Worth. *Journal of Property Research* 24: 191–219.
- Fuerst, Franz and Patrick McAllister. 2009. An Investigation of the Effect of Eco-Labeling on Office Occupancy Rates. *The Journal of Sustainable Real Estate*, 1(1).
- Fuerst, Franz and Patrick McAllister. 2011. Green Noise or Green Value? Measuring the Effects of Environmental Certification on Office Values, *Real Estate Economics*, 39(1): 45-69.
- Galuppo, L. A. and C. Tu. 2010. Capital Markets and Sustainable Real Estate : What Are the Perceived Risks and Barriers? *Journal of Sustainable Real Estate* 2(1): 143-159.
- Glaeser, E.L. and M.E. Kahn. 2010. The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development, *Journal of Urban Economics* 67: 404–418.
- Greenbiz. 2006. Fireman's Fund Introduces Green Building Coverage. Accessed online at: <http://www.greenbiz.com/news/2006/10/11/firemans-fund-introduces-green-building-coverage>
- Greenspirit Strategies, Ltd. 2004. "The Cost of Green: A Closer Look at State of California Sustainable Building Claims." Available online at http://www.apawood.org/level_b.cfm?contentl=pub_ewj_0402_green
- Hoffman, A.J. & Henn, R., 2008. Overcoming the Social and Psychological Barriers to Green Building. *Organization & Environment*, 21(4), pp.390–419.
- Horowitz, M.J. and H. Haeri. 1990. Economic Efficiency v. Energy Efficiency - Do Model Conservation Standards Make Good Sense? *Energy Economics*, 12:2: 122–31.
- Issa, M.H., Rankin, J.H. & Christian, A.J., 2010. Canadian practitioners' perception of research work investigating the cost premiums, long-term costs and health and productivity benefits of green buildings. *Building and Environment*, 45(7), pp.1698–1711.
- Karagiannis, Ioannis C., and Petros G. Soldatos. 2008. Water Desalination Cost Literature: Review and Assessment. *Desalination* 223 (1–3): 448–456.
- Kats, G. 2006. Greening America's schools costs and benefits. Capital E.
- Kats, G. 2010. Greening Our Built World: Costs, Benefits, and Strategies. Island Press. Washington DC.
- Kats, G., Alevantis L, Berman A, Mills E, Perlman J 2003. *The costs and financial benefits of green buildings*. Sacramento, CA: California Sustainable Building Task Force.

- Kats, G, James M, Apfelbaum S, Darden T, Farr D, Fox R. 2008. Greening buildings and communities: costs and benefits. Capital E.
- Kibert, C. J. 2007. *Sustainable construction: Green building design and delivery*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Lockwood, C. 2007. The green quotient: Q&A with Brenna S. Walraven. *Urban Land*, 66, 118-119.
- Luciuk, P. et al .2005. A Business Case For Green Buildings In Canada. Morrison Hershfield. Ottawa, Canada.
- Mapp, C., M.E.C. Nobe, and B. Dunbar. 2011. The Cost of LEED—An Analysis of the Construction Costs of LEED and Non-LEED Banks. *Journal of Sustainable Real Estate* 3(1): 254-273.
- Matthiessen, L., & P. Morris. 2007. *Cost of green revisited: Reexamining the feasibility and cost impact of sustainable design in the light of increased market adoption*. New York: Davis Langdon.
- Miller, N. 2010. Does Green Still Pay Off? *Journal of Sustainable Real Estate*. Accessed online at: <http://www.costar.com/uploadedFiles/JOSRE/pdfs/DoesGreenStillPayOff.pdf>
- Miller, Norm, Jay Spivey, Andrew Florance. 2008. Does Green Pay Off? *Journal of Real Estate Portfolio Management* 14(4): 385-400.
- Nevin, R. and G. Watson. 1998. Evidence of Rational Market Valuations for Home Energy Efficiency. *The Appraisal Journal* 66(4): 401–09.
- New Buildings Institute (NBI) 2004. *Benefits Guide: A Design Professional's Guide to High Performance Office Building Benefits*. New Buildings Institute. White Salmon, WA.
- Pinkse, J. and M. Dommisse. 2009. Overcoming Barriers to Sustainability: an Explanation of Residential Builders' Reluctance to Adopt Clean Technologies. *Business Strategy and the Environment* 18: 515–527.
- Slavin, A. 2009. A Thin Green Line. *Best's Review*. January: 78-81.
- Steven Winters Associates. 2004. GSA LEED Cost Study – Final Report. Submitted to U.S. General Services Administration
- Sustainability Victoria and the Kador Group. Undated. Employee Productivity in a Sustainable Building: Pre- and Post-Occupancy Studies in 500 Collins Street. Australia.
- Turner Green Buildings. 2005. *Survey of green building plus green building in K-12 and higher education*. New York: Turner Construction.
- Turner C. and M.Frankel. 2008. Energy performance of LEED for new construction buildings. New Buildings Institute. White Salmon, WA.

Urban Green Council and Davis Langdon. 2009. *Cost of Green in NYC*. Urban Green Council, Davis Langdon and NYSEERDA.

U.S. Green Building Council. 2005. *Making the business case for high performance green buildings*. Washington, DC:

World Business Council on Sustainable Development. 2007. *Energy efficiency in buildings: Business realities and opportunities*.
<http://www.wbcsd.org/Plugins/DocSearch/details>.

World Green Building Council. 2008. *Global Green Building Trends*. McGraw-Hill Construction.
<http://greensource.construction.com/resources/smartMarket.asp>

Yudelson, Jerry. 2007. "Green Building Incentives That Work: A Closer Look at How Local Governments Are Incentivizing Green Development", for NAIOP Research Foundation, November 2007.

ESD 2012, מצגת לוועדה המקצועית של מכון התקנים בניין 304

איטומן, אתר אינטרנט המתמחה באיטום, ערך: [מדה בטון](#)

איתי טרילניק, 2011, [נורות ליבון ייאסרו למכירה – המשק יחסוך מיליארד קוט"ש בשנה](#), דה-מרקר 13.12.11

ברזון ליאונד 2010, [מפרט טכני לעבודות אלומיניום שמורת הארגמן מגרש 304](#), א.ג.מ. תכנון ייעוץ וניהול בע"מ

גולד הנדסה 2011, פירוט חתכי קיר שונים. חברת ייעוץ למערכות בניין וחסכון אנרגיה במבנים

דאובר, יוסף. 2011. [דו"ח שנתי 2010 – נתוני צריכת מים על ידי תאגידי המים והרשויות המקומיות](#), ע"מ 12, מתוך אתר רשות המים

חברת החשמל 2012, [תעריפי החשמל לאספקה במתח נמוך מ 1.4.12](#), מאתר חברת החשמל

חברת החשמל 2011. [דין וחשבון סטטיסטי לשנת 2010](#). ע"מ 32

חברת החשמל 2002, [תמצית תעריפי החשמל לאספקה במתח נמוך מ 5.7.2002](#), באתר חברת חשמל - פרטי התעריפים הקודמים

[חוק הקרינה הבלתי מייננת 2006](#), רשומות ספר החוקים

חקלאי רן 2009, תמלוגים עבור חומרי גלם למשק הבנייה והסלילה ניתוח מצב קיים והמלצות למדיניות, הוכן עבור אגף שיווק וכלכלה של ממ"י

יזמות 2009, נתניה מזרח בניינים 1-3 אוגדן הגשות לת"י 5281 לבנייה ירוקה, יזמות- תכנון וניהול סביבתי בע"מ

לזר זיו וחילו נתן 2012, [כיצד קובעים מהי בנייה ירוקה וכמה זה עולה?](#), התאחדות בוני הארץ

לינדר-גנץ, רוני. 2012. גרים בצפון או בדרום? המים מסכנים את הבריאות שלכם. The Marker. 14.05.2012.

לשכה המרכזית לסטטיסטיקה (הלמ"ס). 2012. סקר הוצאות משק בית 2010: סיכומים כלליים http://www.cbs.gov.il/publications12/1481/pdf/h_print.pdf

לשכה המרכזית לסטטיסטיקה (הלמ"ס). 2012. מדד המחירים לצרכן – כללי. http://www.cbs.gov.il/reader/?Mlval=cw_usr_view_SHTML&ID=345

לשכה המרכזית לסטטיסטיקה (הלמ"ס) 2012, מדד מחירי תשומה בבנייה למגורים, ירחון מחירים מספר 10/2012, לוח 5.1 ע"מ 11

לשכה המרכזית לסטטיסטיקה (הלמ"ס) 2012, שנתון סטטיסטי לישראל 2012, לוח 5.1

מכון התקנים 2011 ו 2003, תקן 1045 - בידוד תרמי של בניינים

מכון התקנים הישראלי 2012, טבלת ניקוד לפרויקט פיור בניינים 1-3 נתניה, אגף ההסמכה

משרד להגנת הסביבה, חשיפה לקרינה אלקטרומגנטית בתדר רשת החשמל, המלצות המשרד

פרלמן אלון וחובריו (2004), מדריך לתכנון ובנייה משמרת נגר עילי, עבודה עבור משרד הבינוי והשיכון בליווי משרד החקלאות ופיתוח הכפר והמשרד להגנת הסביבה

פרוסטינג הדס 2010, פרויקט הארגמן – בניין 304 דו"ח התאמה לת"י 5281, חברת יוזמות – תכנון וניהול סביבתי בע"מ, ע"מ 55

מרשות המים 2012, תעריפים, באתר רשות המים

רשות המים 2012, תעריפי מים עדכניים לאורך זמן, חטיבת הכלכלה

שיכון ובינוי 2012, מצגת לוועדה המקצועית של מכון התקנים בניין 1

תקנות הקרינה הבלתי מייננת 2009, המשרד להגנת הסביבה

10. נספחים

נספח א – חישובי עלויות זיגוג

1. בניין 304

כפי שהוסבר בפרק 4 בסעיף "חלונות ורכיביהם", לצורך חישוב עלות ההשקעה הנוספת בגין רכיבים ירוקים בחלונות, אשר בוצעה בבניין 304 לעומת בניין הייחוס, חושבה העלות של הזגוגיות בלבד בכל אחד מהבניינים. הסיבה לכך היא שמכל רכיבי החלון (תריס, מנוע תריס, זגוגיות, פרופיל אלומיניום, רשתות יתושים, ידיות וכד'), רק הזגוגיות תורמות לעמידתו של הבניין בתקן בנייה ירוקה, כיוון שהן משפיעות על רמת הבידוד התרמית והאקוסטית של החלון.

עלות הזגוגיות בבניין 304 ובבניין הייחוס חושבה כלהלן:

נתונים אודות סוגי הזגוגיות בכל אחד מחלונות הבניין, וכן מספר החלונות וגודל המפתחים נלקחו ממפרט האלומיניום של הבניין,²¹⁷ וכך חושבה כמות הזגוגיות במ"ר, מכל סוג זגוגית אשר יושמה בבניין. מכמות זו הופחתו 25% שכן שטח הזגוגיות בחלון ממוצע הינו 75% בלבד משטח המפתח, היות ואת שאר השטח תופס פרופיל האלומיניום ומסגרות הכנפיים שבחלונות.²¹⁸ כמות זו הוכפלה בממוצע של 3 הצעות מחיר, אשר התקבלו מחברות לייצור זכוכית וחלונות.²¹⁹ ממוצע זה הינו מחיר למ"ר זכוכית לפי מידה, לקבלן אלומיניום, ללא מע"מ, ללא הובלה וללא התקנה. למחיר זה הוסף רווח קבלן אלומיניום בשיעור 30% ורווח קבלן בניין בשיעור 17%, אשר לא נכללים בהצעות המחיר מהחברות לייצור זכוכית, אבל כן נכללים בהצעת המחיר של קבלן האלומיניום לקבלן הבניין, ושל קבלן הבניין ליזם. שיעור רווחים זה אינו קבוע בשוק והוא תלוי במספר גורמים כגון גודל ההזמנה, יכולת מו"מ של הצדדים, מצב כלכלי של המבצעים, זמינות של המבצעים ועוד. עם זאת, משיחות עם מספר אנשי מקצוע מתחום האלומיניום והבנייה, עלה שרווחים בשיעורים אלו הינם נפוצים ומקובלים בענף האלומיניום והבנייה. המחיר אינו כולל עלות הובלה והתקנה היות וההבדל בעלויות אלו בין חלון בעל זיגוג מבודד לבין חלון בעל זיגוג רגיל הינו זניח (או שאינו קיים כלל). יש לציין שהמחירים שהתקבלו מהחברות לייצור זכוכית נכונים לנובמבר 2012 בעוד שאר העלויות במחקר נכונים לשנת 2011. אך היות ולא היה שינוי במחירי הזכוכית בין שנת 2011 ועד נובמבר 2012 מחירים אלו דומים למחירי השוק שהיו בשנת 2011.²²⁰ כמו כן לא חושבה עלות הזגוגית של חלונות הממ"דים היות וחלונות אלו זהים בבניין 304 ובבניין הייחוס.

²¹⁷ ברזון ליאוניד 2010, מפרט טכני לעבודות אלומיניום שמורת הארגמן מגרש 304, א.ג.מ. תכנון ייעוץ וניהול בע"מ

²¹⁸ עפ"י ראיון עבודה עם איג' רזזה גולדין מחברת גולד הנדסה – ייעוץ בניין וחיסכון אנרגיה במבנים

²¹⁹ ההצעות התקבלו מחברות: טופז תעשיות זכוכית בע"מ, סטאר גלאס בע"מ, ואלומיניום ורד 1993 בע"מ

²²⁰ למ"ס 2012, מדד מחירי תשומה בבנייה למגורים, ירחון מחירים מספר 10/2012, לוח 5.1 ע"מ 11

מס' פריט ²²¹	תיאור החלון (ברקע אפור-זכוכיות (LowE)	סה"כ מספר חלונות בבניין	רוחב מפתח במ'	גובה מפתח במ'	שטח חלון במ"ר	זיגוג	עלות זוגית למ"ר ²²²	חלונות בניין 304	עלות זיגוג כולל רווח קבלן אלומיניום ורווח קבלן בניין	זיגוג בבניין ייחוס	עלות זוגית למ"ר ²²³	חלונות בניין ייחוס	עלות זוגית כולל רווח קבלן אלומיניום ורווח קבלן בניין בבינין הייחוס
6.1	וויטרינה	13	3.35	2.29	7.67	בידודית 6-12 שתי הזכוכיות מחוסמות	252	18,849	28,669	ביטחון 4-0.76-4	155	11,594	17,634
6.1 חזית דרומית	וויטרינה	15	3.35	2.29	7.67	בידודית 6-12 שתי הזכוכיות מחוסמות, החיצונית LowE	348	30,034	45,682	ביטחון 4-0.76-4	155	13,377	20,347
10.1	דלת ציר	1	0.9	2.29	2.06	בידודית 6-12 שתי הזכוכיות מחוסמות	252	390	592	ביטחון 4-0.76-4	155	240	364
12.1	חלון הזזה במרפסת שירות	1	1	1.24	1.24	ביטחון 3-0.76-3	128	119	181	בודדת 5 מ"מ	51	47	72
16.1	חלון הזזה (עם קבוע תחתון בשורה הבאה)	22	1.6	1.24	1.98	בידודית 4-6-6	160	5,238	7,967	בודדת 5 מ"מ	51	1,670	2,539
16.1 קבוע תחתון	קבוע תחתון	22	1.6	0.55	0.88	בידודית 4-6-6, פנימית 6 מ"מ מחוסמת	188	2,730	4,152	בודדת 6 מ"מ מחוסמת	90	1,307	1,988
16.2	הזזה בחדר שינה	90	1.4	1.24	1.74	בידודית 6-6-4	160	18,749	28,517	בודדת 5 מ"מ	51	5,976	9,090
16.2 חזית דרומית	הזזה בחדר שינה	26	1.4	1.24	1.74	בידודית 6-6-4 החיצונית (6 מ"מ) LowE מחוסמת	303	10,257	15,601	בודדת 5 מ"מ	51	1,726	2,626
16.3	הזזה בחדר דיור	2	1.1	1.24	1.36	בידודית 6-6-4	160	327	498	בודדת 5 מ"מ	51	104	159
16.4	הזזה בפנטהאוז ז עליון	1	1.2	1.24	1.49	ביטחון 4-0.76-5	160	179	272	בודדת 5 מ"מ	51	57	87
16.4 חזית דרומית	הזזה בפנטהאוז ז עליון	2	1	1	1.49	בידודית 6-6-4 החיצונית (6 מ"מ) LowE מחוסמת	303	676	1,029	בודדת 5 מ"מ	51	114	173

²²¹ לפי מפרט אלומיניום: ברזון ליאוניד 2010, מפרט טכני לעבודות אלומיניום שמורת הארגמן מגרש 304, א.ג.מ. תכנון ייעוץ וניהול בע"מ ע"מ 14-19

²²² ממוצע 3 הצעות מחיר כמוסבר למעלה. מחיר למ"ר זכוכית לפי מידה, לקבלן אלומיניום, ללא מע"מ, ללא הובלה וללא התקנה.

²²³ ממוצע 3 הצעות מחיר כמוסבר למעלה. מחיר למ"ר זכוכית לפי מידה, לקבלן אלומיניום, ללא מע"מ, ללא הובלה וללא התקנה.

מס' פריט 224	תיאור החלון (ברקע אפור-זכוכיות LowE)	סה"כ מספר חלונות בבניין	רוחב מפתח במ'	גובה מפתח במ'	שטח חלון במ"ר	זיגוג	עלות זגוגית למ"ר 225	חלונות בניין 304	עלות זיגוג כלל רוח קבלן אלומיניום ורוח קבלן בניין	זיגוג בבניין ייחוס	עלות זגוגית למ"ר 226	חלונות בניין ייחוס	עלות זיגוג כלל רוח קבלן אלומיניום ורוח קבלן בניין בבניין הייחוס
22.1	סב נטוי (דרי קיפ) בפיתת אוכל (עם קבוע תחתון בשורה הבאה)	11	1.10	1.24	1.36	ביטחון 4-0.76-5	160	1,800	2,739	בודדת 5 מ"מ	51	574	873
22.1 קבוע תחתון	קבוע תחתון	11	1.10	0.55	0.61	ביטחון 4-0.76-5	160	799	1,215	בודדת 6 מ"מ מחוסמת	90	449	683
22.1 חזית דרומית	סב נטוי (דרי קיפ) בפיתת אוכל (עם קבוע תחתון בשורה הבאה)	11	1.10	1.24	1.36	בידודית 6-6-4 החיצונית (6 מ"מ) LowE מחוסמת	303	3,410	5,186	בודדת 5 מ"מ	51	574	873
22.1 חזית דרומית	קבוע תחתון	11	1.10	0.55	0.61	בידודית 6-6-6 החיצונית LowE מחוסמת, הפנימית מחוסמת	338	1,687	2,566	בודדת 6 מ"מ מחוסמת	90	449	683
22.2	סב נטוי (דרי קיפ) בחדר שינה	1	1.00	1.24	1.24	ביטחון 4-0.76-5	160	149	226	בודדת 5 מ"מ	51	47	72
23.1	קיפ עם קבוע תחתון בשירותי אורחים	29	0.50	1.24	0.62	ביטחון 3-0.76-3 חלבי	150	2,023	3,077	ביטחון 3-0.76-3 מט חלבי	150	2,023	3,077
23.2	קיפ עם קבוע תחתון בחדרי רחצה ושירותים	7	0.45	1.24	0.56	ביטחון 3-0.76-3 חלבי	150	439	668	ביטחון 3-0.76-3 מט חלבי	150	439	668
23.3	קיפ עם קבוע תחתון בחדרי רחצה ושירותים	6	0.40	1.24	0.50	ביטחון 3-0.76-3 חלבי	150	335	509	ביטחון 3-0.76-3 מט חלבי	150	335	509
23.4	קיפ עם קבוע תחתון בחדרי רחצה ושירותים	34	0.60	1.24	0.74	ביטחון 3-0.76-3 חלבי	150	2,846	4,328	ביטחון 3-0.76-3 מט חלבי	150	2,846	4,328
28.1	ממ"ד	26	1.00	1.00	1.00	עפ"י התקן (זזה לבניין הייחוס)							
סה"כ								101,034	153,673			43,948	66,845

²²⁴ לפי מפרט אלומיניום: ברזון ליאונד 2010, מפרט טכני לעבודות אלומיניום שמורת הארגמן מגרש 304, א.ג.מ. תכנון ייעוץ וניהול בע"מ ע"מ 14-19

²²⁵ ממוצע 3 הצעות מחיר כמוסבר למעלה. מחיר למ"ר זכוכית לפי מידה, לקבלן אלומיניום, ללא מע"מ, ללא הובלה וללא התקנה.

²²⁶ ממוצע 3 הצעות מחיר כמוסבר למעלה. מחיר למ"ר זכוכית לפי מידה, לקבלן אלומיניום, ללא מע"מ, ללא הובלה וללא התקנה.

2. בניין 1

חישובי עלות הזגוגיות בבניין 1 נעשה באופן דומה לאופן החישוב בבניין 304 הנ"ל. הזגוגיות בבניין 1 ובבניין הייחוס זהות פרט לזגוגיות הוויטרינות (ראו פרק 5 סעיף חלונות ורכיביהם להרחבה). עלות הזגוגיות בבניין 1 ובבניין הייחוס חושבה כלהלן:

תיאור החלון	סה"כ מספר חלונות בבניין	רוחב מפתח במ'	גובה מפתח במ'	שטח חלון במ"ר	זיגוג	עלות זגוגית למ"ר ²²⁷	חלונות זגוגיות לכלל בניין 304	קבלן אלומיניום ורווח קבלן בניין	עלות זיגוג בבניין ייחוס	עלות זגוגית למ"ר ²²⁸	חלונות בניין ייחוס	עלות זגוגיות לכלל בניין אלומיניום ורווח קבלן בניין בבניין הייחוס
וויטרינה	78	2.80	2.00	5.60	בידודית 6-12 שתי הזכוכיות מחוסמות	252	82,555	125,566	ביטחון 4-0.76	155	50,778	77,233
חלונות בחדרי מגורים					בודדת 5 מ"מ - זהה לבניין הייחוס				בודדת 5 מ"מ			
חלונות בחדרי שירותים, מקלחת ואמבטיה					ביטחון 3-0.76 מט חלבי - זהה לבניין הייחוס				ביטחון 3-0.76 מט חלבי			
חלונות ממ"ד					לפי התקן - זהה לבניין הייחוס				לפי התקן			
סה"כ								125,566				77,233

²²⁷ ממוצע 3 הצעות מחיר כמוסבר למעלה. מחיר למ"ר זכוכית לפי מידה, לקבלן אלומיניום, ללא מע"מ, ללא הובלה וללא התקנה.

²²⁸ ממוצע 3 הצעות מחיר כמוסבר למעלה. מחיר למ"ר זכוכית לפי מידה, לקבלן אלומיניום, ללא מע"מ, ללא הובלה וללא התקנה.

נספח ב – חישובי בידוד תרמי של בנייני הייחוס

מעטפת בנייני הייחוס נבחרה כך שבכפוף ליחס זיגוג בקיר הנתון במבנה הייחוס, סביר שהיא עומדת בדרישות החוק ביניהן עמידה בתקן 1045 לבידוד תרמי, הגם שחישובים תרמיים מפורטים לעמידה בתקן לא נכללו במסגרת מחקר זה. אופן החישוב לפיו נקבע הבידוד במעטפת בנייני הייחוס מפורט להלן.

1. בניין 304

א. חישוב אחוז שטח הקיר ואחוז שטח החלונות במעטפת הדירות של הבניין

בטבלה להלן מחושבים שטחי הקיר ושטחי החלונות במעטפת של הדירות וזאת כדי לחשב מהו אחוז שטח הזיגוג מתוך שטח המעטפת של הדירות לשם חישובים תרמיים.²²⁹

סוג דירה טיפוסית	מספר דירות בבניין	שטח חלונות בדירה	שטח כולל של קירות חוץ וחלונות בדירה	שטח קירות חוץ ללא חלונות בדירה	סה"כ שטח חלונות בכל הדירות	סה"כ שטח קירות חוץ ללא חלונות בכל הדירות	סה"כ שטח קירות חוץ כולל חלונות בכל הדירות
GD - דירה 1	1	15.2	99.6	84.4	15.2	84.4	99.6
GB - דירה 2	1	19.3	110.7	91.4	19.3	91.4	110.7
A, B - דירות 4,5,8,9,12,13, 16,17,20,21	10	17.2	114.6	97.4	172	974	1146
D - דירות 3,7,11,15,19	5	17.4	105	87.6	87	438	525
C - דירות 6,10,14,18,22	5	19.5	110.4	90.9	97.5	454.5	552
MPA MPB - דירות 24,25	2	16.4	111.6	95.2	32.8	190.4	223.2
PD דירה 23	1	17.2	120.6	103.4	17.2	103.4	120.6
PB דירה 26	1	28.5	161.7	133.2	28.5	133.2	161.7
סה"כ	26				469.5	2469.3	2938.8

אחוז הקיר משטח המעטפת של הדירות הינו: $2469.3/2938.8 = 84\%$

²²⁹ הנתונים עפ"י חישובי בידוד תרמי שבוצעו ע"י גולד הנדסה ונמצאים ב- פרוסטיג הדס 2010 ע"מ 72-79

להלן טבלה המסכמת את דרישות תקן 1045²³⁰ לערכי התנגדות תרמית אופיינית (r) מינימלית של רכיבי מעטפת (מ"ר*ק' לווט) באזור ב' (אזור הכולל את נס ציונה). הנתונים הם לפי תקן 1045 מגרסתו בשנת 2003 ו 2011:

התנגדות תרמית דרושה לפי 1045	קיר חיצוני	קיר הפרדה בין דירה לחלל סגור שאינו מחומם/מקורר	תקרה עליונה	רצפה מעל חללים פתוחים	רצפה מעל חלל סגור שאינו מחומם/מקורר
2003 באזור ב	0.65	0.35	0.8	0.5	0.35
2011 באזור ב	0.7	0.55	1.5	0.75	0.5

להלן טבלה המפרטת את ההתנגדות התרמית של קיר חיצוני בבנייני הייחוס:

חתך קיר חיצוני	החומר (לפי תקן 1045)	מוליכות תרמית חישובית (למדא) ווט (מ"ר * ק') (מתקן 1045)	אופציה א		אופציה ב	
			עובי הרכיב במ'	התנגדות תרמית (מ"ר * ק') (לוט)	עובי הרכיב במ'	התנגדות תרמית (מ"ר * ק') (לוט)
אבן 4 ס"מ	אבן חול, אבן גיר	2.3	0.04	0.017	0.04	0.017
טיט 4 ס"מ	מלט צמנט	1.4	0.04	0.029	0.04	0.029
בטון 16 ס"מ	בטון רגיל	2.1	0.16	0.076	0.16	0.076
לוח פוליסטירן מוקצף קשיח F30 3 ס"מ	לוח פוליסטירן מוקצף קשיח	0.04	0.03	0.750	0.03	0.750
לוח גבס 1.2 ס"מ	לוחות גבס קרטון	0.21	0.012	0.057	-	-
שפכטל			-	-	-	-
טיח 1 ס"מ					0.01	0.007
סה"כ קיר				0.929		0.879

ב. להלן טבלה המפרטת את ההתנגדות התרמית של חלונות בבנייני הייחוס:

חלונות (לפי תקן 1045)	העברות תרמית (לפי תקן 1045) ווט למ"ר לק'	התנגדות תרמית
מסגרת אלומיניום וזגוגית 3 מ"מ	5.91	0.169
מסגרת אלומיניום וזגוגית 6 מ"מ	5.84	0.171
מסגרת אלומיניום וזגוגית בידודית 3-6-3 מ"מ	4.04	0.248
מסגרת אלומיניום וזגוגית בידודית 3-16-3 ס"מ	3.11	0.323

²³⁰ נתונים רבים בפרק זה לקוחים מ: תקן 1045 ו 2011, 2003, בידוד תרמי של בניינים, מכון התקנים עמודים שונים

היות ובבנייני הייחוס בשתי האופציות רוב החלונות (כל החלונות ששטחם קטן מ 2 מ"ר) הם עם זגוגית בודדת 5 מ"מ ומיעוטם (חלונות ששטחם גדול מ 2 מ"ר) עם זגוגית רבודה 4-0.76-4, לצורך חישוב ההתנגדות התרמית של החלונות בבנייני הייחוס נלקח הערך 0.169 המתאים לחלונות עם זגוגית 3 מ"מ. ערך זה הינו מחמיר ביחס לחלונות בבנייני הייחוס, ומבטיח, שבפועל לקירות החיצוניים בבנייני הייחוס יש התנגדות תרמית שאינה קטנה מהחישובים ואף גדולה מהם.

על מנת לחשב את ההתנגדות התרמית של הקירות החיצוניים יש לחשב ממוצע משוקלל של התנגדות הקירות עם התנגדות החלונות לפי השטחים היחסיים של קירות וחלונות:

$$\text{לכן ההתנגדות התרמית של קיר חיצוני באופציה א' הינה: } 0.929 \cdot 0.84 + 0.169 \cdot 0.16 = 0.81$$

באופן דומה ההתנגדות התרמית של קיר חיצוני באופציה ב' הינה 0.77

עפ"י החישובים הנ"ל נמצא כי הקיר החיצוני בשני בנייני הייחוס עומד בדרישות תקן 1045.

ג. להלן טבלה המפרטת את ההתנגדות התרמית של קירות, רצפות ותקרות שונים בבנייני הייחוס:

אופציה ב		אופציה א		מוליכות תרמית חישובית (למדא) וּט ל'(מ' * ק') (מתקן 1045)	החומר (לפי תקן 1045)	חתך
התנגדות תרמית (מ"ר * ק' לווט)	עובי הרכיב במ'	התנגדות תרמית (מ"ר * ק' לווט)	עובי הרכיב במ'			
קיר הפרדה בין דירה לחלל שאינו מחומם/מקורר						
0.095	0.2	0.095	0.2	2.1	בטון רגיל	בטון 20 ס"מ
-	-	0.400	0.03	0.075	טיח תרמי משופר 200	טיח תרמי 200 בעובי 3 ס"מ
0.261	0.03	-	-	0.115	טיח תרמי משופר 400	טיח תרמי 400 בעובי 3 ס"מ
0.356		0.495		סה"כ קיר מפריד		
תקרה עליונה						
0.029	0.005	0.029	0.005	0.17	יריעות ביטומן	יריעות ביטומניות 0.5 בעובי ס"מ
0.081	0.05	0.081	0.05	0.62	בטון קל	בט קל 1200 בעובי 5 ס"מ
0.750	0.03	1.500	0.06	0.04	לוח פוליסטירן מוקצף קשיח	לוח פוליסטירן מוקצף קשיח F30 בעובי 6 / 3 ס"מ
0.095	0.2	0.095	0.2	2.1	בטון רגיל	בטון בעובי 20 ס"מ
0.007	0.01	0.007	0.01	1.4	מלט צמנט	טיח פנים בעובי 1 ס"מ
0.962		1.712		סה"כ תקרה עליונה		

עפ"י חישובים אלו נמצא כי קיר ההפרדה בבניין הייחוס באופציה א אינו עומד בדרישות תקן 1045 הדורש התנגדות תרמית של 0.55 מ"ר * ק' לווט. עם זאת, היות ובבניין 304 קיר ההפרדה מטיח בטיח תרמי 300, אשר הינו מבודד פחות טוב מטיח תרמי 200 המיושם בבניין הייחוס, ההנחה כאן היא שהיות ובניין 304 עבר בדיקות מקיפות לעמידתו בתקן 5282 (דירוג בניינים לפי צריכת אנרגיה) ע"י אנשי מקצוע, והיות והמלצתם הייתה ליישם בקירות ההפרדה טיח תרמי 300 בעובי 3 ס"מ בלבד, ²³¹ הרי שככל הנראה גם קיר ההפרדה בבניין הייחוס, אשר מיושם בו בידוד טוב יותר מזה שבקיר ההפרדה בבניין 304, עומד לפחות בדרישות תקן 1045 וההבדלים נובעים היות והחישובים עבור בנייני הייחוס מוגבלים בהיקפם ביחס לחישובים שבוצעו בבניין 304. בכל מקרה, גם אם ההנחה אינה נכונה ונדרש להוסיף בידוד בקיר ההפרדה בבניין הייחוס, הרי שעלותו תהיה זניחה.

עפ"י החישובים הנ"ל נמצא כי קיר ההפרדה של בניין הייחוס באופציה ב עומד בדרישות תקן 1045.

עפ"י חישובים אלו נמצא כי התקרה העליונה בשני בנייני הייחוס עומדת בדרישות תקן 1045.

חֶתֶךְ		החומר (לפי תקן 1045)	מוליכות תרמית חישובית (למדא) ווט ל(מ' * ק') (מתקן 1045)	אופציה א		אופציה ב	
				עובי הרכיב במ' (מ"ר * ק' לווט)	התנגדות תרמית (מ"ר * ק' לווט)	עובי הרכיב במ' (מ"ר * ק' לווט)	התנגדות תרמית (מ"ר * ק' לווט)
232 גג מרוצף מעל דירה							
אריחי קרמיקה 1 ס"מ	אריחי קרמיקה	1.2	0.01	0.008	0.01	0.008	
טיט ביובי 2 ס"מ	מלט צמנט	1.4	0.02	0.014	0.02	0.014	
יריעות ביטומניות בעובי 0.5 ס"מ	יריעות ביטומן	0.17	0.005	0.029	0.005	0.029	
בט קל 1200 בעובי 5 ס"מ	בטון קל	0.62	0.05	0.081	0.05	0.081	
לוח פוליסטירן מוקצף קשיח F30 3 / 6 ס"מ	לוח פוליסטירן מוקצף קשיח	0.04	0.06	1.500	0.03	0.750	
בטון בעובי 20 ס"מ	בטון רגיל	2.1	0.2	0.095	0.2	0.095	
טיח פנים בעובי 1 ס"מ	מלט צמנט	1.4	0.01	0.007	0.01	0.007	
סה"כ גג מרוצף מעל דירה				1.735		0.962	

עפ"י חישובים אלו נמצא כי הגג מרוצף מעל דירה בשני בנייני הייחוס עומד בדרישות תקן 1045.

²³¹ ראו חתך קיר הפרדה מומלץ ע"י גולד הנדסה הנמצא ב- פרוסטיג הדס 2010 ע"מ 89
²³² ההנחה היא שהדרישה להתנגדות התרמית לפי תקן 1045 זהה לדרישה של תקרה עליונה

אופציה ב		אופציה א		מוליכות תרמית חישובית (למדא) ווט (ל'מ" * ק') (מתקן 1045)	החומר (לפי תקן 1045)	חתך
התנגדות תרמית (מ"ר * ק' לווט)	עובי הרכיב במ'	התנגדות תרמית (מ"ר * ק' לווט)	עובי הרכיב במ'			
רצפה מעל חללים פתוחים						
0.008	0.01	0.008	0.01	1.2	אריחי קרמיקה מזוגגים	קרמיקה 1 ס"מ
-	0.02	-	0.02	-	-	טיט ביובי 2 ס"מ
0.043	0.06	0.043	0.06	1.4	חול	חול 6 ס"מ
0.500	0.02	0.750	0.03	0.04	לוח פוליסטירן מוקצף קשיח	לוח פוליסטירן מוקצף קשיח 2 / 3 F30 ס"מ
0.095	0.2	0.095	0.2	2.1	בטון רגיל	בטון 20 ס"מ
0.007	0.01	0.007	0.01	1.4	מלט צמנט	טיח פנים 1 ס"מ
0.645		0.895		סה"כ רצפה מעל חלל פתוח		

עפ"י חישובים אלו נמצא כי הרצפה מעל חללים פתוחים בשני בנייני הייחוס עומדת בדרישות תקן 1045.

אופציה ב		אופציה א		מוליכות תרמית חישובית (למדא) ווטל(מ' * ק') (מתקן 1045)	החומר (לפי תקן 1045)	חתך
התנגדות תרמית (מ"ר * ק' לווט)	עובי הרכיב במ'	התנגדות תרמית (מ"ר * ק' לווט)	עובי הרכיב במ'			
רצפה מעל חלל סגור שאינו מחומם/מקורר						
0.008	0.01	0.008	0.01	1.2	אריחי קרמיקה מזוגגים	קרמיקה 1 ס"מ
	0.02		0.02	-	-	טיט ביובי 2 ס"מ
0.043	0.06	0.043	0.06	1.4	חול	חול 6 ס"מ
	0.04		0.04	-	-	מדה 4 ס"מ
0.500	0.02	0.500	0.02	0.04	לוח פוליסטירן מוקצף קשיח	פוליסטירן מוקצף קשיח 2 F30 ס"מ
0.095	0.2	0.095	0.2	2.1	בטון רגיל	בטון 20 ס"מ
0.007	0.01	0.007	0.01	1.4	מלט צמנט	טיח פנים 1-2 ס"מ
0.654		0.654		סה"כ רצפה מעל חלל סגור		

עפ"י חישובים אלו נמצא כי הרצפה מעל חלל סגור בשני בנייני הייחוס עומדת בדרישות תקן 1045.

2. בניין 1

א. חישוב אחוז שטח הקיר ואחוז שטח החלונות במעטפת הדירות של הבניין

בטבלה להלן מחושבים שטחי הקיר ושטחי החלונות במעטפת של הדירות וזאת כדי לחשב מהו אחוז

שטח הזיגוג מתוך שטח המעטפת של הדירות לשם חישובים תרמיים.²³³

מס' חישוב	מספר דירות בבניין	שטח חלונות בדירה במ"ר	שטח כולל של קירות חוץ וחלונות בדירה במ"ר	שטח קירות חוץ ללא חלונות בדירה במ"ר	סה"כ שטח חלונות בכל הדירות במ"ר	סה"כ שטח קירות חוץ ללא חלונות בכל הדירות במ"ר	סה"כ שטח
907/1	1	11.8	92	80.2	11.8	80.2	92
907/2	16	11.8	92	80.2	188.8	1283.2	1472
907/3	17	11.6	97.4	85.8	197.2	1458.6	1655.8
907/4	17	10.8	108.8	98	183.6	1666	1849.6
907/5	19	10.8	108.8	98	205.2	1862	2067.2
907/6	2	11.8	92	80.2	23.6	160.4	184
907/7	2	20.8	165	144.2	41.6	288.4	330
907/8	2	11.4	138	126.6	22.8	253.2	276
סה"כ	76				874.6	7052	7926.6

אחוז הקיר משטח המעטפת של הדירות הינו: $7052/7926.6 = 89\%$

להלן טבלה המסכמת את דרישות תקן 1045²³⁴ לערכי התנגדות תרמית אופיינית (r) מינימלית של רכיבי מעטפת (מ"ר*ק' לווט) באזור א' (אזור הכולל את נתניה). הנתונים הם לפי תקן 1045 מגרסתו בשנת 2003 ו 2011

התנגדות תרמית דרושה לפי 1045	קיר חיצוני	קיר הפרדה בין דירה לחלל סגור שאינו מחומם/מקורר	תקרה עליונה	רצפה מעל חללים פתוחים	רצפה מעל חלל סגור שאינו מחומם/מקורר
2003 באזור א	0.55	0.3	0.75	0.4	0.3
2011 באזור א	0.6	0.45	1.5	0.6	0.45

²³³ הנתונים עפ"י חישובי בידוד תרמי שבוצעו ע"י גולד הנדסה ונמצאים ב- יוזמות 2009 ע"מ 46, 113-89
²³⁴ נתונים רבים בפרק זה לקוחים מ: תקן 1045 2011 ו 2003, בידוד תרמי של בניינים, מכון התקנים עמודים שונים

ב. להלן טבלה המפרטת את ההתנגדות התרמית של קיר חיצוני בבנייני הייחוס:

אופציה ב		אופציה א		מוליכות תרמית חישובית (למדא) ווט ל(מ' * ק') (מתקן 1045)	החומר (לפי תקן 1045)	חתך קיר חיצוני
התנגדות תרמית (מ"ר * ק' לווט)	עובי הרכיב במ'	התנגדות תרמית (מ"ר * ק' לווט)	עובי הרכיב במ'			
0.009	0.02	0.009	0.02	2.3	אבן חול, אבן גיר	אבן 2 ס"מ
0.086	0.18	0.086	0.18	2.1	בטון רגיל	בטון 18 ס"מ
0.750	0.03	0.750	0.03	0.04	לוח פוליסטירן מוקצף קשיח	לוח פוליסטירן מוקצף קשיח F30 3 ס"מ
-	-	0.057	0.012	0.21	לוחות גבס קרטון	לוח גבס 1.2 ס"מ
-	-	-	-	-	-	שפכטל
0.007	0.01	-	-	1.4	מלט צמנט	טיח וצבע 1 ס"מ
0.852		0.902		סה"כ קיר		

ג. ההתנגדות התרמית של חלונות בבנייני הייחוס

באופן דומה לחישובים שבוצעו עבור בנייני הייחוס של בניין 304, להלן טבלה המפרטת את ההתנגדות התרמית של חלונות בבנייני הייחוס:

התנגדות תרמית	העברות תרמית (לפי תקן 1045) ווט למ"ר לק'	חלונות (לפי תקן 1045)
0.169	5.91	מסגרת אלומיניום וזגוגית 3 מ"מ
0.171	5.84	מסגרת אלומיניום וזגוגית 6 מ"מ
0.248	4.04	מסגרת אלומיניום וזגוגית בידודית 3-6-3 מ"מ
0.323	3.11	מסגרת אלומיניום וזגוגית בידודית 3-16-3 ס"מ

היות ובבנייני הייחוס בשתי האופציות רוב החלונות ששטחם קטן מ 2 מ"ר) הם עם זגוגית בודדת 5 מ"מ ומיעוטם (חלונות ששטחם גדול מ 2 מ"ר) עם זגוגית רבודה 4-0.76-4, לצורך חישוב ההתנגדות התרמית של החלונות בבנייני הייחוס נלקח הערך 0.169 המתאים לחלונות עם זגוגית 3 מ"מ. ערך זה הינו מחמיר ביחס לחלונות בבנייני הייחוס, ומבטיח, שבפועל לקירות החיצוניים בבנייני הייחוס יש התנגדות תרמית שאינה קטנה מהחישובים ואף גדולה מהם. על מנת לחשב את ההתנגדות התרמית של הקירות החיצוניים יש לחשב ממוצע משוקלל של התנגדות הקירות עם התנגדות החלונות לפי השטחים היחסיים של קירות וחלונות:

לכן ההתנגדות התרמית של קיר חיצוני באופציה א הינה: $0.902 \cdot 0.89 + 0.169 \cdot 0.11 = 0.82$

באופן דומה ההתנגדות התרמית של קיר חיצוני באופציה ב הינה **0.78**

עפ"י החישובים הנ"ל נמצא כי הקיר החיצוני בשני בנייני הייחוס עומד בדרישות תקן 1045.

ד. להלן טבלה המפרטת את ההתנגדות התרמית של קירות, רצפות ותקרות שונים בבנייני הייחוס:

אופציה ב		אופציה א		מוליכות תרמית חישובית (למדא) ווטל(מ' * ק') (מתקן 1045)	החומר (לפי תקן 1045)	חתך
התנגדות תרמית (מ"ר * ק' לווט)	עובי הרכיב במ'	התנגדות תרמית (מ"ר*ק' לווט)	עובי הרכיב במ'			
קיר הפרדה בין דירה לחלל שאינו מחומם/מקורר						
0.095	0.2	0.095	0.2	2.1	בטון רגיל	בטון 20 ס"מ
-	-	0.400	0.03	0.075	טיח תרמי משופר 200	טיח תרמי 200 בעובי 3 ס"מ
0.217	0.025	-	-	0.115	טיח תרמי משופר 400	טיח תרמי 400 בעובי 2.5 ס"מ
0.313		0.495		סה"כ קיר מפריד		
תקרה עליונה						
0.029	0.005	0.029	0.005	0.17	יריעות ביטומן	יריעות ביטומניות בעובי 0.5 ס"מ
0.081	0.05	0.081	0.05	0.62	בטון קל	בט קל 1200 בעובי 5 ס"מ
0.750	0.03	1.500	0.06	0.04	לוח פוליסטירן מוקצף קשיח	לוח פוליסטירן מוקצף קשיח F30 בעובי 3 / 6 ס"מ
0.095	0.2	0.095	0.2	2.1	בטון רגיל	בטון בעובי 20 ס"מ
0.007	0.01	0.007	0.01	1.4	מלט צמנט	טיח פנים בעובי 1 ס"מ
0.962		1.712		סה"כ תיקרה עליונה		

עפ"י חישובים אלו נמצא כי קיר ההפרדה והתקרה העליונה בשני בנייני הייחוס עומדים בדרישות תקן 1045.

אופציה ב		אופציה א		מוליכות תרמית חישובית (למדא) וּט ל(מ' * ק') (מתקן 1045)	החומר (לפי תקן 1045)	חתך
התנגדות תרמית (מ"ר * ק' לווט)	עובי הרכיב במ'	התנגדות תרמית (מ"ר * ק' לווט)	עובי הרכיב במ'			
גג מרוצף מעל דירה ²³⁵						
0.008	0.01	0.008	0.01	1.2	אריחי קרמיקה	אריחי קרמיקה 1 ס"מ
0.014	0.02	0.014	0.02	1.4	מלט צמנט	טיט ביובי 2 ס"מ
0.081	0.05	0.081	0.05	0.62	בטון קל	בט קל 1200 בעובי 5 ס"מ
0.750	0.03	1.500	0.06	0.04	לוח פוליסטירן מוקצף קשיח	לוח פוליסטירן מוקצף קשיח 3 / 6 F30 ס"מ
0.095	0.2	0.095	0.2	2.1	בטון רגיל	בטון בעובי 20 ס"מ
0.007	0.01	0.007	0.01	1.4	מלט צמנט	טיח פנים בעובי 1 ס"מ
0.933		1.706		סה"כ גג מרוצף מעל דירה		

עפ"י חישובים אלו נמצא כי הגג מרוצף מעל דירה בשני בנייני הייחוס עומד בדרישות תקן 1045.

²³⁵ ההנחה היא שהדרישה להתנגדות התרמית לפי תקן 1045 זהה לדרישה של תקרה עליונה

אופציה ב		אופציה א		מוליכות תרמית חישובית (למדא) ווט ל(מ"ר * ק') (מתקן 1045)	החומר (לפי תקן 1045)	חתך
התנגדות תרמית (מ"ר * ק' לווט)	עובי הרכיב במ'	התנגדות תרמית (מ"ר * ק' לווט)	עובי הרכיב במ'			
רצפה מעל חללים פתוחים						
0.008	0.01	0.008	0.01	1.2	אריחי קרמיקה מזוגגים	קרמיקה 1 ס"מ
-	0.02	-	0.02	-	-	טיט ביובי 2 ס"מ
0.043	0.06	0.043	0.06	1.4	חול	חול 6 ס"מ
0.500	0.02	0.500	0.02	0.04	לוח פוליסטירן מוקצף קשיח	לוח פוליסטירן מוקצף קשיח 2 F30 ס"מ
0.095	0.2	0.095	0.2	2.1	בטון רגיל	בטון 20 ס"מ
0.007	0.01	0.007	0.01	1.4	מלט צמנט	טיח פנים 1 ס"מ
0.645		0.645		סה"כ רצפה מעל חלל פתוח		

עפ"י חישובים אלו נמצא כי הרצפה מעל חללים פתוחים בשני בנייני הייחוס עומדת בדרישות תקן 1045.

אופציה ב		אופציה א		מוליכות תרמית חשובית (למדא) ווט ל(מ' * ק') (מתקן 1045)	החומר (לפי תקן 1045)	חתך
התנגדות תרמית (מ"ר * ק' לווט)	עובי הרכיב במ'	התנגדות תרמית (מ"ר * ק' לווט)	עובי הרכיב במ'			
רצפה מעל חלל סגור שאינו מחומם/מקורר						
0.008	0.01	0.008	0.01	1.2	אריחי קרמיקה מזוגגים	קרמיקה 1 ס"מ
	0.02		0.02	-	-	טיט ביובי 2 ס"מ
0.043	0.06	0.043	0.06	1.4	חול	חול 6 ס"מ
	0.04		0.04	-	-	מדה 4 ס"מ
0.500	²³⁶ 0.02	0.500	0.02	0.04	לוח פוליסטירן מוקצף קשיח	פוליסטירן מוקצף קשיח 2 F30 ס"מ
0.095	0.2	0.095	0.2	2.1	בטון רגיל	בטון 20 ס"מ
0.007	0.01	0.007	0.01	1.4	מלט צמנט	טיח פנים 1-2 ס"מ
0.654		0.654		סה"כ רצפה מעל חלל סגור		

עפ"י חישובים אלו נמצא כי הרצפה מעל חלל סגור בשני בנייני הייחוס עומדת בדרישות תקן 1045.

²³⁶ למרות שמבחינת דרישות הבידוד ניתן להסתפק בלוח בעובי 1 ס"מ, מבחינת היישום עדיף להשתמש בלוחות בעובי 2 ס"מ ומעלה