



עלויות וחסכון של בנייה ירוקה במבני משרדים בישראל

דצמבר 2014

© כל הזכויות שמורות למועצה הישראלית לבנייה ירוקה, דצמבר 2014
בתמיכת קרן ברכה

B E R A C H A
הכרה

סימולציות בחסות



על החוקרים:

חגי קוט הינו כלכלן, מומחה לכלכלה סביבתית, כלכלה בת קיימא ומדיניות סביבתית. בעל תואר MSc במדיניות ורגולציה סביבתית מה- London School of Economics (בהצטיינות), ותואר BA בכלכלה מאוניברסיטת ת"א (בהצטיינות יתרה). עמית הוראה במכללה האקדמית ת"א – יפו, ובעל משרד ייעוץ ומחקר אסטרטגי במגוון תחומים בכלכלה ומדיניות סביבתית. בוגר תוכנית עמיתי הסביבה של מרכז השל לחשיבה ומנהיגות סביבתית, וממקימי העמותה הישראלית לכלכלה בת קיימא אותה ריכז במשך שנתיים. ביצע מחקרים למגוון מוסדות ובניהם: המועצה הישראלית לבנייה ירוקה, אדם טבע ודין, מכון ירושלים לחקר ישראל ועוד.

יונתן נתניאן הינו אדריכל, בוגר הטכניון, סיים בהצטיינות את התכנית למאסטר באדריכלות סביבתית בת-קיימא ב AA בלונדון; בעל סטודיו לתכנון אדריכלי מודע סביבה, studioADAPT המתמחה בתרגום הרעיונות האקלימיים מתיאוריה לפרקטיקה בפרויקטים בקני מידה שונים, תוך שימוש בעקרונות התכנון האקלימי באופן אינטגרטיבי משלבי התכנון הראשוניים. במקביל מחלק יונתן את זמנו בין מחקר בתחום הבנייה הירוקה בארץ, הרצאות במסגרות אקדמיות ומקצועיות בארץ ובחו"ל, הנחיית פרויקט גמר לאדריכלות בטכניון (מרצה ועמית הוראה), ניהול מקצועי של קורס מלווי בניה ירוקה מטעם מכון התקנים והעברת סדנאות לאדריכלים בנושא מעטפות בנין חכמות ותכנון סביבתי בר קיימא.

היגוי וליווי מקצועי:

קרן שוץ – מנהלת תחום מחקר ופיתוח, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה. בוגרת תואר MSc בתכנון, עיצוב ופיתוח עירוני מאוניברסיטת לונדון UCL- Bartlett school of the Built Environment.

תודות:

ברצוננו להודות באופן מיוחד ל:

מיכאל לוי - אשר ביצע את הסימולציות האנרגטיות לבדיקות התפקודיות ולחישובי החיסכון. מיכאל הוא הבעלים של משרד [Low Energy Studio](http://www.LowEnergyStudio.com), אשר מתמחה ביעוץ אנרגטי לבנייה ירוקה, אותו הקים בשנת 2012 כדי לגשר על הפער בין שלבי התכנון והבנייה, ולספק פתרונות ארכיטקטוניים לצורך עמידה בתקנים של בניה ירוקה. מאחורי מיכאל, שנים של ניסיון בעבודה כאדריכל בארץ ובחו"ל. מיכאל בעל תואר שני בהצטיינות בתכנון והנדסה סביבתית (MSC.EDE) מאוניברסיטת UCL שבלונדון. הוא מתמחה באדריכלות בת-קיימא והתייעלות אנרגטית ומקדיש חלק מזמנו לפרויקטים אקדמאים ולמחקר. המשרד מציע ללקוחותיו שירות ייחודי ומקצועי ביותר בהתאם לתקן בינלאומי LEED ולתקן ישראלי (ת"י 5280, ת"י 5281).

מהנדס רפי אהרוני – אשר ליווה את המחקר משלביו הראשונים ויעץ לנו באופן שוטף בנושאים השונים שבת"י 5281 ובנושאי מיזוג אוויר ומערכות בפרט. רפי אהרוני, הינו מנכ"ל חברת אסא אהרוני מהנדסים, העוסקת שנים רבות בתכנון מערכות אנרגיה, מיזוג אוויר וקירור. בין הפרויקטים שבהם ישם המשרד טכנולוגיות חדשות: משרדי חברות הייטק (אפל, מיקרוסופט, אינטל, אלביט, רפאל), בתי חולים הדסה ורמב"ם, בית הספר הירוק בכפר סבא, פארקי חברת גב ים (מת"ם, הרצליה, נגב) ועוד. בעשר השנים האחרונות, המשרד עוסק ביעוץ בנייה ירוקה בעיקר לפי תקן LEED והוביל לזו ותכנון של פרויקטים ירוקים כמו רמת הנדיב, בניין פורטר, בנק לאומי, בנין IDC9 אינטל, יד הנדיב וכן פרויקטים בהתאם לתקן הישראלי.

טלי וקסלר – אשר ביצעה את התכנון הנופי לבניין הירוק וסייעה לנו בכל הנוגע לסעיפי ת"י 5281 הנוגעים לפיתוח. טלי וקסלר, מייסדת משרד נחלת הכלל, הינה אדריכלית נופ, בוגרת הטכניון, וחברת הנהלה באיגוד הישראלי של אדריכלי הנוף. משרד נחלת הכלל | תכנון המרחב הציבורי שלנו, הינו משרד אדריכלות נופ צעיר, המציע עיצוב מקורי לצד תכנון בגישות העדכניות ביותר בתחום הקיימות. המשרד מביא אל עולם התכנון הישראלי חשיבה סביבתית מתקדמת, המעצימה את השירותים האקולוגיים והחברתיים במרחב. המשרד מקדם חשיבה תכנונית המעדיפה חללים בקנה מידה מזמין ותכנון המאפשר הנאה מהמרחב הציבורי, על ידי יצירת איכותיות עיצוביות ותכנוניות בצד ערכי קהילתיות.

איסי קונונוביץ – אשר אפיין את התכנון הכללי של מערכות התאורה בבניין הייחוס ובבניין הירוק, וייעץ באופן שוטף בכל נושאי התאורה. איסי קונונוביץ הינו הבעלים והמנכ"ל של חברת אי. סי. פי. (ECP) עיצוב ותכנון תאורה אדריכלית, אותה הקים בשנת 1997. החברה מספקת שירותי תכנון של מערכות תאורה מתקדמות בדגש על שילוב טכנולוגיות חדישות. מבין לקוחותיה הקבועים נמצאים: החברה לפיתוח קיסריה, UMI, בתי הזיקוק לנפט, פרטנר תקשורת, סלקום ישראל, שופרסל, עיריית רמת גן, מרכזי כנסים, בתי יוקרה ועוד. איסי קונונוביץ למד עיצוב תאורה באוניברסיטת ת"א, ומלמד עיצוב תאורה אדריכלית בשלוחת הטכניון בר"ג ובמכללת ספיר.

בנוסף, ברצוננו להודות ולהביע את הערכתנו הרבה 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 שם פרטי):

אורי ערד - רכז סקרי טבע נוף ומורשת במכון דש"א
אלירז סיני - אגרונום, יועץ להקמת ותחזוקת גינות
אופיר נבו - מנהל שיווק בחברת אקסטל בע"מ, חברה לפיתוח, ייצור ושיווק מערכות אלומיניום לבניין
אמתי סלבסט - מנכ"ל משותף גלובל קוואליטי בע"מ, מערכות בית חכם ואודיו וידאו
ארז לטנר - אדריכל, מנהל פרויקטים בחברת א. אפשטיין
גל סורקין שפניר - אדריכל, מנהל פרויקט בנייה ירוקה בקבוצת ברן
דוד כהן - בודק בנייה ירוקה במכון התקנים
חן נחמיה - מנהל מכירות, חברת בני וצביקה בע"מ
יהונתן אלעזר – אדריכל, מנהל תחום בנייה ירוקה במכון התקנים
ירון גלר - הידרולוג, הנדסה וניהול משאבי מים בע"מ
כרמל פאר – יועץ אקוסטיקה
ליאור אקנין - מנכ"ל חברת אקוסיסטמס, חברה לתכנון הקמה ותחזוקה של מערכות למחזור מים
לימור חושן - מנכ"לית חושן הנדסה וייעוץ, בטיחות גיהות וסביבה
לירון דן - מנהלת "הקטלוג" - מאגר המוצרים לבנייה ירוקה, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה
מיכל ויטל-ברון - תכנון וייעוץ לבנייה ירוקה, משרד ויטל - רוזנברג אדריכלים
מיכל זוהר - אדריכלית אורבנד, מומחית בתחום הגבס ובנייה מתקדמת, מלווה מוסמכת לבנייה ירוקה
ד"ר מרק קיזנר - ד"ר להנדסה, מנהל טכני של מפעל חד עירגול
נמרוד שמר - אדריכל נוף
סאם אלפסי - מייסד שותף בחברת WAWA – אדריכלות ירוקה בע"מ
סהר כהן - מהנדס קונסטרוקציה
עופר קאופמן – יועץ זכוכית, מנכ"ל O.K. Glass

עידו מגן - יועץ זכויות ומנהל שיווק ASHKENAZY GLASS
ערן בן קנז - מנכ"ל מעבדת אקו'ק מעבדה לניטור תעסוקתי סביבתי
ד"ר ערן קפטן – אדריכל, מנכ"ל Research & EcoDesign, יעילות אנרגטית וקיימות במבנים
ד"ר רבקה ויטל - מרצה בכירה במכללת שנקר במחלקה לעיצוב פנים - מבנה וסביבה, ויועצת תאורה
מהנדסת רוזה גולדין – גולד הנדסה ייעוץ תרמי למבנים בע"מ
שמעון צוק - הידרולוג M.Sc. חברת "צוק - הידרולוגיה וסביבה"
ד"ר שחר דולב – מנהל תחום המחקר, הפורום הישראלי לאנרגיה
שמוליק ליפשיין – בעלים ומנכ"ל של חברת ESD פיתוח סביבה וקיימות
שרון ראובני - מנכ"לית חברת שר ייעוץ והדרכה בע"מ חברה לייעוץ איכות סביבה ובטיחות
תמי הירש – משרד תמי הירש אדריכלים – משרד תכנון המתמחה בבנייה ירוקה

תוכן עניינים

9	תקציר
17	1. מבוא
17	א. רקע
19	ב. מטרת המחקר
19	ג. מבנה המחקר
20	2. שיטת המחקר
20	א. מתודולוגיית המחקר
22	ב. שלבי המחקר
24	ג. מגבלות המחקר והמלצות למחקרי המשך
26	3. תיאור בניין הייחוס והבניין הירוק
26	א. בניין הייחוס
30	ב. הבניין הירוק
32	ג. הפיתוח הנופי בתחום האתר
34	4. הערכת עלויות של רכיבים בירוקים בבניין הירוק בהשוואה לבניין הייחוס
35	1. אנרגיה
44	2. קרקע
50	3. מים
53	4. חומרים
55	5. בריאות ורווחה
60	6. פסולת
61	7. תחבורה
62	8. ניהול אתר הבנייה
65	9. חדשנות
69	5. ניתוח הממצאים
69	א. עלויות ועלויות למ"ר
69	ב. ניתוח השוואתי של עלויות הרכיבים השונים
71	ג. עלויות רכיבים ירוקים נוספים אשר לא יושמו בבניין הירוק שבמחקר
73	ד. רכיבים ירוקים בבנייה קונבנציונלית
75	ה. רכיבי גרעין ומעטפת (Core and Shell)

78	6. חיסכון
78	א. רקע
78	ב. חסכון באנרגיה
81	ג. חסכון במים
82	ד. סיכום
86	7. סיכום ומסקנות.....
89	8. נספחים.....
89	א. תכנון אקלימי אינטגרטיבי של מבני משרדים באקלים ים תיכוני
92	ב. חישוב נתוני זכויות על מנת לעמוד בת"י 1045
94	ג. הנחות היסוד לבדיקה התפקודית לפי ת"י 5282 חלק 2

רשימת טבלאות עיקריות

38	עלויות רכיבים ומערכות לשיפור הדירוג האנרגטי של הבניין הירוק	4.1
41	עלויות רכיבי תאורה בבניין הייחוס ובבניין הירוק	4.2
48	עלויות הפיתוח בבניין הייחוס ובבניין הירוק	4.3
66	סיכום השוואת עלויות	4.4
72	עלויות וניקוד רכיבים ירוקים נוספים אשר לא יושמו בבניין הירוק שבמחקר	5.1
73	רכיבים ירוקים נפוצים בבנייה קונבנציונלית	5.2
74	רכיבים ירוקים שניתן ליישם בבנייה קונבנציונלית ע"י מודעות וללא עלות נוספת	5.3
76	סעיפי גרעין ומעטפת בת"י 5281	5.4
79	עיקר השינויים בהנחות לצורך חישובי החיסכון ביחס לבדיקה התפקודית בת"י 5282	6.1
79	החיסכון הצפוי בהוצאות האנרגיה בבניין הירוק בהשוואה לבניין הייחוס	6.2
94	הנחות היסוד לבדיקה התפקודית לפי ת"י 5282 חלק 2	8.1

רשימת איורים

13	 חיסכון מצטבר בחשמל ומים ועלות השקעה נוספת בבניין הירוק	1
13	 הרווח על ההשקעה הנוספת הכוללת בגין חיסכון בחשמל ומים בבניין הירוק	2
14	 חיסכון מצטבר בחשמל ועלות השקעה נוספת (ללא פיתוח נופי) בבניין הירוק	3
15	 הרווח על ההשקעה הנוספת (ללא פיתוח נופי) בגין חיסכון בחשמל בבניין הירוק	4
26	 אזור התעשייה בני ברק	3.1
27	 מאפייני מבנה הייחוס	3.2
28	 חתך קומת משרדים טיפוסית	3.3
29	 תכנית קומת משרדים טיפוסית	3.4
31	 פירוט הבניין הירוק	3.5
33	 תכנית הפיתוח הנופי בבניין הירוק	3.6
70	 חלקם היחסי של רכיבים שונים בעלות ההשקעה הנוספת (המקסימלית)	5.1
71	 חלקם היחסי של רכיבים שונים בעלות ההשקעה הנוספת לפי פרקי ת"י 5281	5.2
82	 חיסכון מצטבר בחשמל ועלות השקעה נוספת (ללא פיתוח נופי) בבניין הירוק	6.1
83	 הרווח על ההשקעה הנוספת (ללא פיתוח נופי) בגין חיסכון בחשמל בבניין הירוק	6.2
84	 חיסכון מצטבר בחשמל ומים ועלות השקעה נוספת בבניין הירוק	6.3
84	 הרווח על ההשקעה הנוספת הכוללת בגין חיסכון בחשמל ומים בבניין הירוק	6.4
89	 מגמות משתנות בארגון חללי משרדים	8.1
90	 ניתוח אופטימיזציה עבור שלושה חללי משרדים באקלים אזור א	8.2
90	 מערכות מיזוג אוויר מתקדמות	8.3
91	 ניתוח מיקרו אקלימי	8.4
91	 אופטימיזצית מעטפת מבנה משרדים	8.5

תקציר

א. רקע

בנייה ירוקה מתמקדת בצמצום תשומות האנרגיה, המים ומשאבים נוספים הדרושים להקמת מבנים והפעלתם, ובכך היא תורמת לצמצום הנזקים הסביבתיים הקשורים בבנייה ובתפעול של מבנים. בנוסף, בנייה ירוקה מייצרת סביבת פנים בריאה ונעימה המקטינה תחלואה של המשתמשים ומגדילה פרודוקטיביות בקרב עובדים ותלמידים. לאור כל זאת, הולכת וגוברת בישראל ההתעניינות בבנייה ירוקה, מרמת הממשלה והרשויות המקומיות ועד לרמת היזמים והצרכנים. ביולי 2014 התקבלה החלטת ממשלה לקידום בנייה ירוקה בישראל, אשר במסגרתה הוקצו 31.8 מיליון ש"ח לקידום הבנייה הירוקה במשך שלוש שנים. ביוני 2013, פורום 15 הערים העצמאיות, בהן מתגוררת 40% מאוכלוסיית ישראל, החליט כי משנת 2014 ובאופן הדרגתי, הבנייה בתחומי ערים אלו תהיה בנייה ירוקה עפ"י התקן הישראלי לבנייה ירוקה, ת"י 5281. בין היתר נקבע כי משנת 2014 יחויבו מבני משרדים מעל 5,000 מ"ר לעמוד ברמה של כוכב אחד עפ"י התקן, ומשנת 2015, יחויבו מבני משרדים בשטח העולה על 20,000 מ"ר לעמוד ברמה של שני כוכבים. גם ברמת היזמים והצרכנים, נמצא שוק הבנייה הירוקה בישראל בתנופה: נכון לדצמבר 2014 קיימים בישראל 183 מבנים ירוקים מוסמכים (לפי ת"י 5281), ולמעלה מ-500 בשלבים שונים של תהליך ההסמכה. כמו כן, מספר המבנים הירוקים החדשים המוסמכים בכל שנה הולך וגדל:

2014	2013	2012	2011	2010	מס' המבנים הירוקים החדשים שהוסמכו בשנה
108	36	12	7	4	

אך למרות הגידול המשמעותי בהתעניינות, במודעות ובבנייה הירוקה בפועל בישראל, התחום עדיין נמצא בצעדיו הראשונים. אחד החסמים ליישום נרחב של בנייה ירוקה הוא אי הוודאות לגבי העלויות והכדאיות הכלכלית של שיטת בנייה זו בהשוואה לבנייה קונבנציונלית. 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.

ב. מטרת המחקר

מטרתו של מחקר זה הינה להציג הערכות מבוססות של העלויות והתועלות הכלכליות הישירות של בנייה ירוקה במבני משרדים בישראל. לשם כך, המחקר מבוסס על בחינה השוואתית של מרכיבי העלות הנוספים בבניין משרדים ירוק, ¹ ברמה בסיסית של כוכב אחד (55 - 64 נקודות), בהשוואה לעלויות של מרכיבים מקבילים בבנייה קונבנציונלית.

ג. מתודולוגיה

הגישה המתודולוגית אשר על פיה התבצע המחקר הנוכחי מתבססת על ניתוח הפרש העלויות בין שני ביינים תיאורטיים: האחד, בניין קונבנציונלי (בניין הייחוס), והשני, בניין ירוק (מקרה המבחן), אשר זהה לו בכל, פרט לשינויים

¹ כלומר בניין אשר עומד בדרישות התקן הישראלי לבנייה ירוקה

הנדרשים בכדי לעמוד בדרישות התקן לבנייה ירוקה בדרגה בסיסית של כוכב אחד. על בסיס התכנון של שני הבניינים ובדיקת מחירי שירותים ומוצרים בשוק הבנייה הירוקה בישראל חושבו הפרשי העלויות הצפויים ביניהם. בהתבסס על מידול ממוחשב, בוצע ניתוח השוואתי של צריכת החשמל הצפויה של הבניינים, וחושב החיסכון הצפוי של הבניין הירוק בהשוואה לבניין הייחוס.

ד. שלבי המחקר

המחקר בוצע בשישה שלבים:

1. תכנון בניין משרדים קונבנציונלי תיאורטי (בניין הייחוס) - תוכנן בניין משרדים קונבנציונלי תיאורטי, המשקף סטנדרט בנייה של בנייני משרדים בישראל. לשם כך הוגדר בניין משרדים ריבועי סימטרי בן 20 קומות המתנשא לגובה 80 מ', כאשר שטח כל קומה 1,000 מ"ר, והוא ממוקם באזור התעשייה בבני ברק. בבניין יושמו מאפיינים תכנוניים, עיצוביים ופונקציונליים המייצגים את המצב הקיים (Common Practice) בתכנון מבני משרדים קונבנציונליים באופן הרחב ביותר.

2. החלטה לגבי הרכיבים הירוקים אשר יוטמעו בבניין הירוק - בוצע ניתוח של הניקוד הצפוי בבניין הייחוס עפ"י ת"י 5281 בגין רכיבים ירוקים המיושמים ממילא בבנייה קונבנציונלית. לאחר מכן בוצע ניתוח מעמיק של ת"י 5281 ונבחרו הרכיבים הירוקים אשר יוטמעו בבניין הירוק על מנת להפוך אותו לבניין ירוק ברמת הסמכה בסיסית של כוכב אחד (55 - 64 נקודות).

3. הערכת עלויות - בשלב העיקרי במחקר בוצעה הערכת עלויות עבור כל הרכיבים הירוקים אשר נמצאו מתאימים ליישום בבניין הירוק שבמחקר, והינם שונים מבנייה קונבנציונלית. ההערכות בוצעו בעזרת אנשי מקצוע ויועצים מהתחום, מחירי שוק, מחירי מחירון דקל ועוד.

4. השוואת עלויות בין הבניין הירוק לבניין הייחוס - בוצעה השוואה בין הערכת העלות של הרכיבים הירוקים, לבין הערכת עלות רכיבים מקבילים (במידה וקיימים) בבניין הייחוס. חישוב זה מספק את הפרש העלויות, כלומר את עלות ההשקעה הנוספת עבור כל אחד מהרכיבים, בגין בנייה ירוקה ברמת דירוג בסיסית, בהשוואה לבניין ייחוס שנבנה בצורה קונבנציונלית.

5. ניתוח הממצאים - בוצע ניתוח של עלות ההשקעה הנוספת הכללית ולמ"ר (בש"ח ובאחוזים), השוואה בין עלויות הרכיבים השונים, פירוט עלויות של רכיבים ירוקים מעבר לאלו אשר יושמו בבניין הירוק שבמחקר, פירוט רכיבים ירוקים בבנייה קונבנציונלית ורכיבים ירוקים של גרעין ומעטפת.

6. בחינת החיסכון הצפוי בחשמל ומים- נבחנה הכדאיות הכלכלית של בנייה ירוקה תוך הסתמכות על נתוני חסכון צפויים של חשמל ומים וניתוח זמן החזר של ההשקעה.

ה. עיקרי הממצאים וניתוחם

עלויות כלליות ועלויות רכיבים עיקריים

מהממצאים עולה כי הבניין הירוק, במידה והיה נבחן באמצעות ת"י 5281, צפוי לקבל 61.5 נק'. בניין הייחוס אף הוא צפוי לקבל לפחות 34.25 נק' בגין רכיבי בנייה ירוקים, אשר נהוג ליישם ממילא בבנייני משרדים קונבנציונליים כגון: מערכת ניהול אנרגיה בבניין (BEMS), מערכת ניטור דליפות מים, בנייה עפ"י דרישות לצפיפות מקסימלית שבתוכנית המתאר, ועוד. כמו כן, עולה כי קיימים רכיבי בנייה ירוקים נוספים (ובניהם למשל: חומרים ומוצרים בעלי תו ירוק, הפרדה ושימוש חוזר בפסולת בניין ועוד), אשר במידה וקיימת מודעות ותשומת לב, ניתן ליישם בבניין הייחוס ללא עלות נוספת (פרט לעלות יעצים, בעיקר מלווה בנייה ירוקה). רכיבים אלו צפויים לזכות את בניין הייחוס ב 6.5 נק' נוספות, וכך הוא עשוי לקבל 40.75 נק'. כלומר, מתוך 61.5 הנקודות אותן צפוי לקבל הבניין הירוק, 40.75 נק' צפויות להתקבל בעלות השקעה נוספת אפסית או זניחה בהשוואה לבניין הייחוס. רובן המכריע צפוי להתקבל הודות לרכיבים שנהוג ממילא ליישם בבנייה קונבנציונלית, ואת חלקן הקטן (6.5 נק'), ניתן לקבל הודות למודעות.

עלות ההשקעה הנוספת בבניין הירוק לעומת בניין הייחוס מפורטת בטבלה הבאה:

השקעה נוספת בבניין הירוק לעומת בניין הייחוס	
השקעה נוספת כוללת ²	1.1 – 1.5 מיליון ₪
השקעה נוספת ללא פיתוח נופי	0.9 – 1.1 מיליון ₪
השקעה נוספת למ"ר בנוי	48 – 58 ₪
עלות ההשקעה הנוספת ביחס לעלות בנייה קונבנציונלית	1.1% - 1.3%

אחוז עלות ההשקעה הנוספת ביחס לעלות בנייה קונבנציונלית, תואם את הממצאים ממחקרים מחו"ל ומהארץ אשר מצאו שבממוצע תוספת העלות של בנייה ירוקה הינה בין 0% - 3% בלבד.

הרכיבים בהם ההשקעה הנוספת הינה משמעותית הינם:

הרכיב	עלות ההשקעה הנוספת בש"ח	אחוז ההשקעה מסך ההשקעה הכוללת (המקסימלית)
פרופילי הצללה בחזית הדרומית	446,000	31%
הקטנת חשיפה במזרח ומערב ע"י קופסת צל	178,000	12%
פיתוח נופי	363,000	25%
סך רכיבי אנרגיה (עפ"י ת"י 5281)	638,000	44%

שני הרכיבים הראשונים בטבלה מטרם לשפר את הביצועים האנרגטיים של הבניין הירוק כדי שיגיע לדירוג אנרגטי ברמה C עפ"י 5282 (כמתחייב בסעיף 1.1.3), ומהווים יחד 43% מסך ההשקעה הנוספת הכוללת.

² הערכה זו כוללת את ההשקעה הנוספת ב- 18 הקומות הטיפוסיות ובפיתוח הנופי, ואינה כוללת את ההשקעה הנוספת, אם קיימת, בלובי הכניסה ובקומה הטכנית, וזאת מתוך הנחה שבשני הבניינים קומות אלו הינן זהות או דומות

נתון מעניין נוסף הוא, שלמרות שעלויות מערכות התאורה בשני הבניינים כמעט וזהה, הודות למודעות ותכנון מושכל של המערכת בבניין הירוק, מיושמת בו מערכת תאורה חסכונית וחכמה עם עומס תאורה הקטן בכ- 23% מעומס התאורה של המערכת בבניין הייחוס. מערכת זו צפויה לחסוך כ- 63% מהוצאות החשמל על תאורה, כלומר כ- 224,000 ₪ בשנה.

רכיבי גרעין ומעטפת (Core and Shell) בבניין הירוק

לעיתים מזומנות, יזם בונה מבני משרדים להשכרה, ומסתפק בבניית הגרעין והמעטפת בלבד וכל שוכר מתכנן את שטח הפנים שהוא מתכוון לשכור עפ"י צרכיו ותפיסתו. כיוון שכיום אין עדיין תקן ישראלי לבנייה ירוקה של גרעין ומעטפת במבני משרדים, יזם אינו יכול להסמך בניין שכזה כבניין ירוק עפ"י התקן הישראלי. לכן ההנחה במחקר היא שהבניינים התיאורטיים הם לשימושם של היזם, והוא אשר מחליט לגבי רכיבי בנייה פנימיים כמו למשל מערכת תאורה. לאור חשיבות ודחיפות הנושא, והעבודה שהחלה במכון התקנים לכתיבת תקן שכזה, חשוב להבין אילו סעיפים³ בת"י 5281 לבנייני משרדים הינם סעיפי גרעין ומעטפת, מהו הניקוד הניתן בהם ומהי עלותם. לכן, במסגרת המחקר בוצע ניתוח של הניקוד והעלות של סעיפי גרעין ומעטפת בבניין הירוק שבמחקר, ולהלן התוצאות:

ניקוד	רכיבי גרעין ומעטפת	כאחוז מסך הניקוד / ההשקעה הנוספת בבניין הירוק
50.5 נק' (מתוך 61.5 נק')	82%	
1 - 1.3 מיליון ₪ (מתוך 1.1 - 1.5 מיליון ₪)	91%	

ו. חיסכון

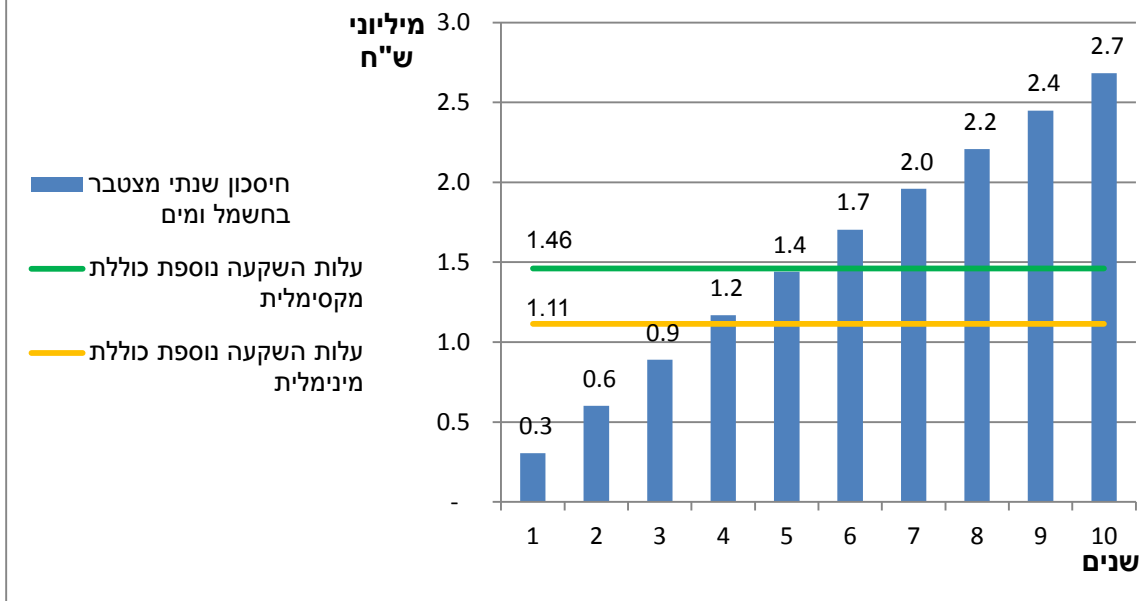
החיסכון הצפוי מבנייה ירוקה משמש תמריץ וטיעון משמעותי בעד כדאיותה של בנייה זו, אשר אמורה, בנוסף לתועלות הצומחות ממנה, להביא לחסכון ישיר בהוצאות המשתמשים על צריכת אנרגיה ומים.⁴ בסה"כ החיסכון השנתי בחשמל (לתאורה, חימום וקירור) ומים נאמד בכ- 305,000 ₪ לשנה. תחת הנחות של מחירי חשמל ומים קבועים ושער היוון של 3%, ההשקעה הנוספת הכוללת בבניין הירוק הנאמדת בכ- 1.1 – 1.5 מיליון ₪, תחזיר את עצמה הודות לחיסכון בחשמל ומים בתוך 4 - 5 שנים בלבד.⁵ התשואה השנתית הממוצעת (לתקופה של 10 שנים) על ההשקעה הנוספת הכוללת הינה 18% - 24% והחיסכון המצטבר לאחר 10 שנים נאמד בכ- 2.7 מיליון ₪.

³ בת"י 5281 נעשה שימוש במילה "מאפיינים" לתיאור הסעיפים השונים המרכיבים את התקן. במחקר נעשה שימוש במילה "סעיפים" היות והיא שכיחה יותר בשפה היומיומית

⁴ הערכת החיסכון הצפוי בחשמל מבוססת על מידול ממוחשב אשר בעזרתו בוצעה השוואה בצריכה הצפויה בין הבניין הירוק לבניין הייחוס. החיסכון הצפוי הינו חיסכון פוטנציאלי ותלוי למשל בתכנון נכון בנושא אור טבעי ונוחות ויזואלית ובהתנהגות המשתמשים בבניין. החיסכון במים נובע ממערכת לאיסוף מי עיבוי מזגנים אשר מספקת את כל צורכי ההשקיה של הגינה

⁵ כלומר, ה-ROI (Return on investment) הופך לחיובי לאחר 4 - 5 שנים בלבד

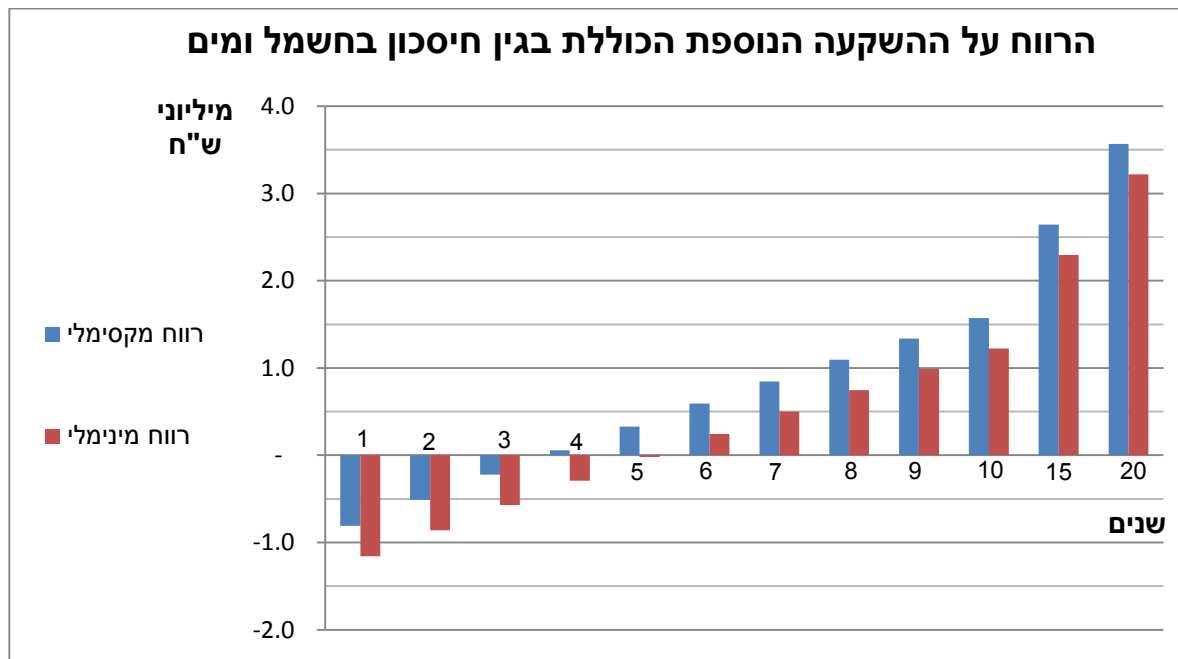
חיסכון מצטבר בחשמל ומים ועלות השקעה נוספת



איור 1 – חיסכון מצטבר בחשמל ומים ועלות השקעה נוספת בבניין הירוק

הרווח על ההשקעה (החיסכון המצטבר בחשמל ומים בניכוי ההשקעה הנוספת הכוללת), מגיע לכ- 1.2 – 1.6 מיליון ₪ לאחר 10 שנים, ולכ- 3.2 – 3.6 מיליון ₪ לאחר 20 שנה.

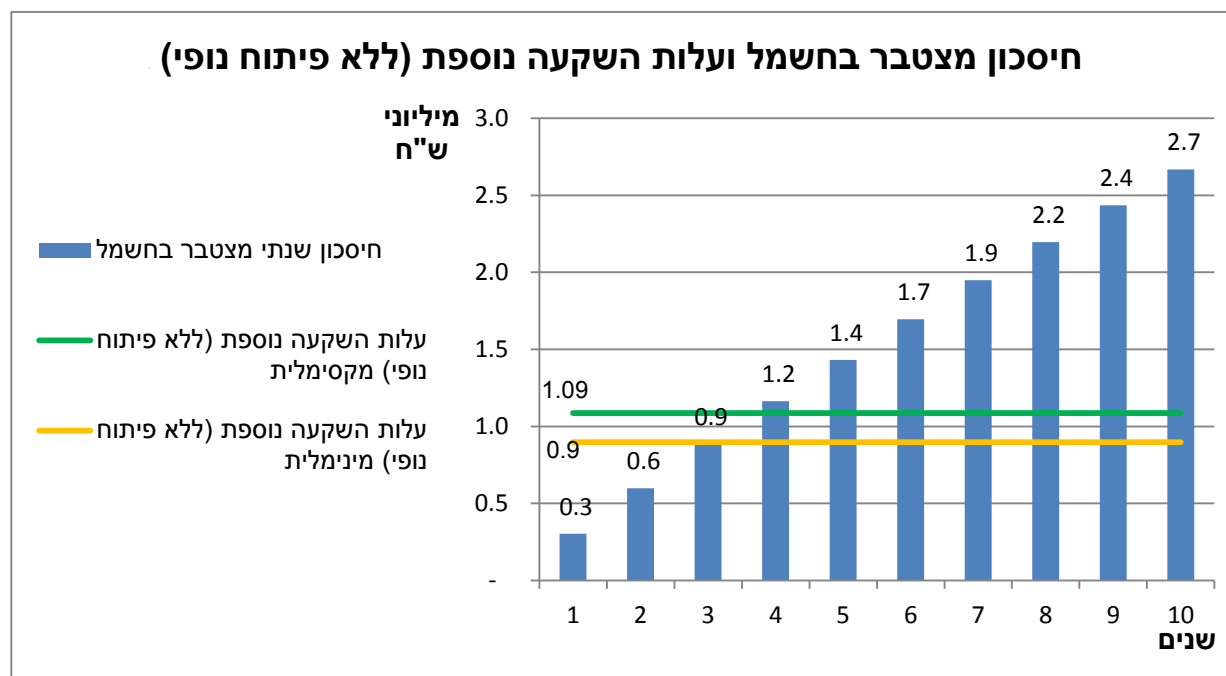
הרווח על ההשקעה הנוספת הכוללת בגין חיסכון בחשמל ומים



איור 2 – הרווח על ההשקעה הנוספת הכוללת בגין חיסכון בחשמל ומים בבניין הירוק

עלות ההשקעה הנוספת בפיתוח הנופי (סעיפים 2.4, 2.5, ו- 2.7 בת"י 5281), והחיסכון במי השקיה לגינה, מושפעים בעיקר מגודל השטח המגונן ולא משטח הבניין או רכיביו השונים. כדי לבחון את ההשקעה הנוספת והחיסכון התלויים בבנין בלבד, ולבודד את משתנה הגינה וגודלה, ראוי לבחון בנפרד את החיסכון בחשמל (הנובע מרכיבי הבנין בלבד), לעומת עלות ההשקעה הנוספת ללא ההשקעה ברכיבי הגינה (כלומר ללא ההשקעה בפיתוח הנופי).

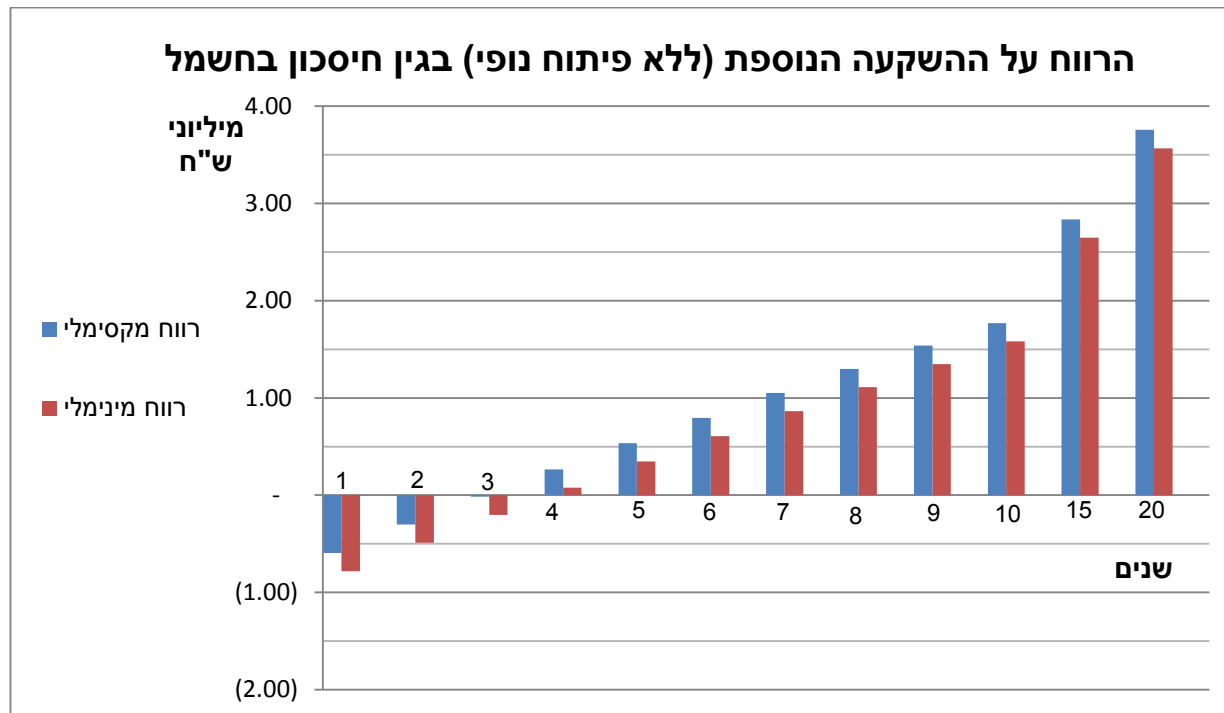
סה"כ בצריכת החשמל לתאורה, חימום וקירור, הבניין הירוק חסכוני לעומת בניין הייחוס בכ- 47%, השווים לכ- 304,000 ₪ לשנה. תחת הנחות של מחירי חשמל קבועים, מחיר קוט"ש של 56.52 אג', ושער היזון של 3%, ההשקעה הנוספת בבנין הירוק (ללא פיתוח נופי) הנאמדת בכ- 0.9 – 1.1 מיליון ₪, תחזיר את עצמה הודות לחיסכון בחשמל בתוך 3 – 4 שנים בלבד.⁶ התשואה השנתית הממוצעת (לתקופה של 10 שנים) על ההשקעה הנוספת (ללא פיתוח נופי) הינה 25% - 30% והחיסכון המצטבר לאחר 10 שנים נאמד בכ- 2.7 מיליון ₪.



איור 3 – חיסכון מצטבר בחשמל ועלות השקעה נוספת (ללא פיתוח נופי) בבניין הירוק

הרווח על ההשקעה (החיסכון המצטבר בחשמל בניכוי ההשקעה הנוספת ללא פיתוח נופי), מגיע לכ- 1.6 – 1.8 מיליון ₪ לאחר 10 שנים, ולכ- 3.6 – 3.8 לאחר 20 שנה.

⁶ כלומר, ה ROI (Return on investment) הופך לחיובי לאחר 3 - 4 שנים בלבד



איור 4 – הרווח על ההשקעה הנוספת (ללא פיתוח נופי) בגין חיסכון בחשמל בבניין הירוק

ביחס לממצאי מחקרים אשר בוצעו בעולם, אחוז החיסכון בחשמל (47%) הינו בטווח העליון של הממצאים העולמיים (25% - 50%). תקופת החזר ההשקעה (ROI=Return on investment) תואמת את הממצאים העולמיים, אשר לפיהם תקופת החזר ההשקעה עומדת על שנים בודדות בלבד.

החיסכון במים בבניין הירוק לעומת בניין הייחוס נובע ממערכת לאיסוף מי עיבוי מזגנים אשר מספקת את כל צורכי ההשקיה של הגינה ע"י איסוף של מי העיבוי מ- 2 קומות טיפוסיות בלבד. החיסכון הינו שולי ומוערך בכ- 144 מ"ק לשנה, ועפ"י תעריף של 12.1 ₪ למ"ק מדובר בחיסכון שנתי של 1,742 ₪ לשנה. עם זאת, פוטנציאל איסוף מי עיבוי המזגנים מכל הבניין מגיע לכ- 1,500 מ"ק בשנה, ובמידה והתקן היה מתגמל איסוף של מי עיבוי המזגנים לשימושים נוספים פרט להשקיית הגינה (כגון הדחת אסלות), סביר להניח שיזמים, בעיקר ברמות הסמכה גבוהות יותר, היו מתקינים מערכת שכזו אשר יכולה לחסוך כ- 18,000 ₪ בשנה ולהחזיר את עלותה בתוך 7 – 9 שנים בלבד.

ז. מסקנות עיקריות

1. לאור התשואה הגבוהה על ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה וההחזר המהיר שלה, על גופי הממשל השונים ברמה הארצית (משרד האוצר, משרד הבינוי והשיכון, משרד הגנת הסביבה, מנהל הרכש הממשלתי, ועוד) והמקומית לפעול במרץ לקידום מבני משרדים ירוקים הן במגזר העסקי והן במגזר הציבורי.
2. כיוון שלעיתים מזמנות, יזם בונה מבני משרדים להשכרה ומסתפק בבניית הגרעין והמעטפת של הבניין בלבד, קיימת חשיבות ודחיפות רבה לכתובתו של ת"י לבנייה ירוקה של גרעין ומעטפת במבני משרדים.

3. מהמחקר עולה שניתן לאסוף כמות משמעותית של מי עיבוי מזגנים במבני משרדים, כמות אשר עולה על צרכי ההשקיה של הגינה. על מנת לעודד יזמים לממש את פוטנציאל החיסכון במים, מומלץ לתגמל שימוש במי עיבוי מזגנים לצרכים נוספים מעבר להשקיית הגינה, ע"י ניקוד ראוי בת"י 5281.

ח. מגבלות המחקר והמלצות למחקרי המשך

המחקר מנתח בניין ייחוס ובניין ירוק תיאורטיים ולכן, אך טבעי הוא שייתכנו פערים בין ההערכות המובאות במחקר, לבין הניקוד, העלויות והחיסכון של מבני משרדים הנבנים ונבדקים בפועל. בכדי להתמודד עם מגבלה זו, התקיימה הקפדת יתר על הניקוד אשר הוענק לבניין הירוק ע"י החוקרים, ובמקרה של ספק האם ניקוד מסוים אכן היה מתקבל בפועל ע"י מכון התקנים, הוחלט להחמיר ולא לקבל את מלוא הניקוד. כמו כן, בבניין הירוק יושמו רכיבים אשר צפויים לזכות אותו ב- 61.5 נק', בעוד שדרגת הסמכה בסיסית של כוכב אחד, מתקבלת החל מ- 55 נק' בלבד. בנוסף, בוצעו ניתוחים והתייעצויות עם אנשי מקצוע רבים, לגבי ההנחות במחקר, וכל החלטות החוקרים הינן גלויות ושקופות לקורא ומנומקות בגוף המחקר. מגבלה נוספת היא שהמחקר מתמקד במבנה ייחוס ובניין ירוק ספציפיים ובדרגת הסמכה בסיסית, ולמרות שהתכנון האדריכלי נקבע כדי לייצג מבני משרדים באופן הרחב ביותר, לכל בניין הנבנה בפועל יהיה תכנון שונה וייתכן שגם דרגת הסמכה שונה. בכדי להתגבר על מגבלות אלו ונוספות מומלץ לקיים את מחקרי המשך להלן:

1. רצוי לבצע מחקרים דומים המתבססים על נתוני עלויות וחיסכון של בניינים שנבנו בפועל. רצוי כי המחקר יכלול מדגם גדול ככל הניתן של מבני משרדים מטיפוסים שונים, אזורי אקלים שונים וכד'. מומלץ לבצע מחקרים דומים גם על מבנים ציבוריים כגון בתי ספר, מבני אקדמיה, בתי חולים ועוד.

2. יש לבצע מחקרי המשך אשר ייבחנו את העלויות והתועלות של מבני משרדים בדרגות הסמכה גבוהות יותר.

3. יש לערוך מחקרים אשר יתמקדו בחיסכון הישיר הצפוי ובחיסכון הישיר בפועל במבנים ירוקים בישראל, ולהשוות את הממצאים לנתונים העולמיים בהתייחס בין היתר למתודולוגיות של המחקרים השונים, רמות מחירי אנרגיה בחו"ל ועוד.

4. יש לערוך מחקרים אשר יתמקדו בחיסכון הצפוי ובחיסכון בפועל במבנים ירוקים בישראל, בדגש על תועלות עקיפות וחיצוניות (בריאות, פרודוקטיביות, עלויות סביבתיות) ואספקטים כלכליים נוספים כגון מחירי השכרה ומכירה, קצב מכירה ואכלוס, תנאי מתן אשראי וכד'.

5. יש לערוך מחקר אשר יתמקד באופטימיזציה מעטפת של מבנה משרדים לשם השגת יעילות אנרגטית ברמות שונות, ובשילוב שיקולי עלות. מומלץ לבצע זאת בסוגים שונים של מבני משרדים ותוך סקירה של מגוון פתרונות אפשריים.

1. מבוא

א. רקע

בנייה ירוקה מתמקדת בצמצום תשומות אנרגיה, מים ומשאבים נוספים הדרושים להקמת מבנים והפעלתם, ובכך היא תורמת לצמצום הנזקים הסביבתיים הקשורים בבנייה והפעלה של מבנים. בנוסף, היא מייצרת סביבת פנים בריאה ונעימה המקטינה תחלואה ומגדילה פרודוקטיביות של המשתמשים במבנה. לשם השגת מטרות אלו בנייה ירוקה שמה דגש על: תכנון חכם המתחשב בתנאי האקלים המקומיים (שמש, רוח, לחות, צל ועוד), בידוד הבניין מסביבתו החיצונית, שימוש במסה תרמית בכדי לחסוך בצריכת אנרגיה לאקלום המבנה, הגברת האורור והתאורה הטבעיים, שימוש בחומרים ידידותיים לאדם ולסביבה, יישום מערכות חכמות לחיסכון ומחזור משאבים ועוד.⁷

לאור כל זאת, הולכת וגוברת בישראל ההתעניינות בבנייה ירוקה, מרמת הממשלה והרשויות המקומיות ועד לרמת היזמים והצרכנים. ביולי 2014 התקבלה החלטת ממשלה לקידום בנייה ירוקה בישראל, אשר במסגרתה הוקצו 31.8 מיליון ₪ לקידום הבנייה הירוקה. בהחלטה נאמר: "...להצהיר כי ממשלת ישראל רואה חשיבות בהטמעת בנייה ירוקה בשוק הבנייה בישראל, וזאת על מנת לצמצם את יוקר המחיה, לשמור על בריאות תושבי המדינה, לצמצם את צריכת המשאבים ולקדם את עצמאותה האנרגטית של מדינת ישראל...".⁸ במסגרת ההחלטה יבוצעו פעולות הסברה לציבור בנושא בנייה ירוקה, יוקם מרכז ידע ישראלי ע"י קידום ידע אקדמי (מחקרים, הכשרות מרצים ועוד) וריכוז מידע אודות בנייה ירוקה בישראל, יוכשר כוח אדם מקצועי בתחום (מתכננים, אדריכלים, מהנדסים, קבלנים, בודקים לתקן ובעלי מקצוע בתחום הנדל"ן והמימון), יקודמו תקנים וכלי מדידה ועוד.

ביוני 2013, פורום 15 הערים העצמאיות,⁹ בהן מתגוררת 40% מאוכלוסיית ישראל, החליט כי משנת 2014 ובאופן הדרגתי, הבנייה בתחומי ערים אלו תהיה בנייה ירוקה עפ"י התקן הישראלי לבנייה ירוקה, ת"י 5281.¹⁰ בין היתר נקבע שמשנת 2014 יחויבו מבני משרדים מעל 5,000 מ"ר לעמוד ברמה של כוכב אחד עפ"י התקן, ומשנת 2015, יחויבו מבני משרדים מעל 20,000 מ"ר לעמוד ברמה של שני כוכבים.

ברמת היזמים והצרכנים, שוק הבנייה הירוקה בישראל נמצא בתנופה. נכון לדצמבר 2014 קיימים בישראל 183 מבנים ירוקים מוסמכים (לפי ת"י 5281), ולמעלה מ-500 בשלבים שונים של תהליך ההסמכה.¹¹ כמו כן, מספר המבנים הירוקים החדשים המוסמכים בכל שנה הולך וגדל:

2014	2013	2012	2011	2010	
108	36	12	7	4	מס' המבנים הירוקים שהוסמכו בשנה

⁷ קוט חגי וכ"ץ דוד, 2013, [עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל](#), המועצה הישראלית לבנייה ירוקה

⁸ ממשלת ישראל, יולי 2014, החלטה מספר 1806, [קידום בנייה ירוקה בישראל](#), אתר משרד ראש הממשלה

⁹ הפורום כולל את הערים הבאות: אשדוד, באר שבע, גבעתיים, הרצליה, חדרה, חולון, חיפה, כפר סבא, נתניה, פתח תקווה, ראשון לציון, רחובות, רמת גן, רעננה ותל אביב – יפו

¹⁰ פורום ה-15, יוני 2013, [אימוץ התקן הישראלי לבנייה ירוקה](#), אתר פורום ה-15

¹¹ אדריכל יהונתן אלעזר, מנהל תחום בנייה ירוקה במכון התקנים, לשעבר ראש תחום בנייה ירוקה במשרד להגנת הסביבה, דוא"ל מה 10.12.14

בנוסף, נכון ליוני 2013, קיימים בישראל עוד 6 מבנים מוסמכים עפ"י תקן LEED ו- 24 בתהליך הסמכה.¹²

מקורותיה של ההתעניינות הגוברת בבנייה ירוקה הינם מגוונים. ברמת המשתמשים, לאור העלויות ההולכות וגדלות של צריכת חשמל ומים בישראל, גובר הצורך בהתייעלות וחיסכון. מחקרים בחו"ל מצאו שבממוצע תוספת העלות של בנייה ירוקה הינה בין 0% - 3% בלבד, ושהינה פונקציה של רמת הדירוג הנקבע בתהליך ההסמכה.¹³ יחד עם זאת, רוב המחקרים מצאו שבנייה ירוקה מחזירה את ההשקעה הנוספת תוך פרק זמן קצר יחסית של שנים בודדות. מחקרים מצאו למשל שבניינים ירוקים חסכוניים ב- 25% - 50% בצריכת האנרגיה שלהם בהשוואה לבניינים קונבנציונליים.¹⁴ בנוסף נמצא שלבנייה ירוקה יש השפעות חיוביות בעלות משמעות כלכלית ניכרת כמו ירידה בתחלואה של דיירים/משתמשים ועלייה בפרודוקטיביות של עובדים, תלמידים וסטודנטים.¹⁵ ברמת היזמים, מחקרים שונים מצאו שבניינים ירוקים נמכרים במחיר גבוה יותר מבניינים קונבנציונליים דומים (עד 31% יותר), ומושכרים במחיר גבוה ב- 6% - 16% מזה של בניינים קונבנציונליים.¹⁶

במדינות המפותחות ענף הבנייה אחראי על 25% - 40% מצריכת האנרגיה, 33% - 50% מצריכת חומרי הגלם, ו- 10% - 44% מהפסולת המוצקה. בישראל בניינים צורכים כ- 60% מצריכת החשמל הכללית, ואחראים כמעט לשליש מפליטות גזי החממה.¹⁷ לכן, ברמה הלאומית, בנייה ירוקה היא מנוע מרכזי להשגת מטרות לאומיות שונות ובהן: צמיחה כלכלית ירוקה, הקטנת צריכת משאבים (אנרגיה, מים, אגרגטים ראשוניים ועוד), צמצום זיהומים ופסולת, צמצום פליטות גזי חממה וקידום עצמאות אנרגטית.

למרות הגידול המשמעותי בהתעניינות, במודעות ובבנייה הירוקה בפועל בישראל, התחום עדיין נמצא בצעדין הראשונים. אחד החסמים ליישום נרחב של בנייה ירוקה הוא אי הוודאות לגבי העלויות והכדאיות הכלכלית של שיטת בנייה זו בהשוואה לבנייה קונבנציונלית.

¹² ילינק אביאל ואלעזר יהונתן, 2013, מצב הבנייה הירוקה בישראל – דו"ח שנתי ספטמבר 2013, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה והמשרד להגנת הסביבה

¹³ קוט חגי וכ"ץ דוד, 2013, עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה

¹⁴ Kats 2003 and Fulbrook et al 2006 cited in WGBC 2013, The Business Case for Green Building, p. 51

¹⁵ להרחבה על ממצאי מחקרים בנוגע לעלויות ותועלות של בנייה ירוקה בארץ ובעולם ראו למשל:

- קוט חגי וכ"ץ דוד, 2013, עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה
- המועצה לבנייה ירוקה, 2014, עלויות ותועלות של בנייה ירוקה בישראל ובעולם
- WGBC 2013, The Business Case for Green Building

¹⁶ Eichholtz, P., N. Kok and J. Quigley. 2009. Doing Well By Doing Good? Green Office Buildings. Working Paper. University of California—Berkeley, Berkeley, CA.

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.

¹⁷ OECD 2003, דו"ח מקנזי 2009, מצוטטים ב: המועצה לבנייה ירוקה, 2014, עלויות ותועלות של בנייה ירוקה בישראל ובעולם, ע"מ 1

ב. מטרת המחקר

מטרתו של מחקר זה הינה להציג הערכות מבוססות של העלויות והתועלות הכלכליות הישירות של בנייה ירוקה במבני משרדים בישראל. לשם כך, המחקר מבוסס על בחינה השוואתית של מרכיבי העלות הנוספים בבניין משרדים ירוק,¹⁸ ברמה בסיסית של כוכב אחד (55 - 64 נקודות) לפי ת"י 5281, בהשוואה לעלויות המקבילות של מרכיבים דומים בבנייה קונבנציונלית.

בכך אנו מקווים לזהות מהם ההבדלים בעלויות של בנייה ירוקה לעומת הבנייה הקונבנציונלית הרווחת בשוק, להסיר חלק מאי הוודאות הקיימת בשוק הבנייה המקומי בנושא תמחור הפרמיה הירוקה במבני משרדים ולפתוח צוהר למחקרי המשך. מידע זה עשוי להיות שימושי למספר רב של בעלי עניין לרבות יזמים, קבלנים, משתמשים במבנים, שוכרים, מקבלי החלטות וקובעי מדיניות הן ברמה הלאומית והן בממשל המקומי. אנו מקווים שמחקר זה, שהוא חלוצי מסוגו בישראל, ישמש יזמים ומקבלי החלטות בבואם לדון ביישום בנייה ירוקה במבני משרדים ברמה הפרקטית והרגולטורית, יסייע בפיתוח התקן לגרעין ומעטפת, ויהווה בסיס להתייחסות במחקרים עתידיים שיתבססו גם על ניתוח עלויות בפועל.

ג. מבנה המחקר

פרק 2	שיטת המחקר - פירוט המתודולוגיה הנבחרת לביצוע מחקר זה, שלבי המחקר ומגבלותיו
פרק 3	תיאור בניין הייחוס והבניין הירוק – פירוט מאפייני התכנון האדריכלי של המבנים וההבדלים ביניהם, וכן תיאור הפיתוח הנופי בתחום האתר
פרק 4	הערכת עלויות של רכיבים ירוקים בבניין הירוק והשוואתה להערכת עלויות של רכיבים בבניין הייחוס
פרק 5	ניתוח הממצאים - עלות ההשקעה הנוספת הכללית ולמ"ר (בש"ח ובאחוזים), השוואה בין עלויות הרכיבים השונים, עלויות רכיבים ירוקים אשר לא יושמו בבניין הירוק שבמחקר, רכיבים ירוקים בבנייה קונבנציונלית, רכיבים ירוקים של גרעין ומעטפת
פרק 6	חיסכון – בחינת החיסכון הצפוי באנרגיה ומים; זמן החזר, תשואה ורווח של ההשקעה הנוספת
פרק 7	סיכום ומסקנות – סיכום המחקר, הצגת מסקנות והצעת כיווני מחקר עתידיים
פרק 8	נספחים: א. תכנון אקלימי אינטגרטיבי של מבני משרדים באקלים ים תיכוני ב. חישוב נתוני זכוכית על מנת לעמוד בת"י 1045 ג. הנחות היסוד לבדיקה התפקודית לפי ת"י 5282-2

¹⁸ כלומר בניין אשר עומד בדרישות התקן הישראלי לבנייה ירוקה. להרחבה ראו: מכון התקנים הישראלי, 2011, ת"י 5281 בגרסתו משנת 2011- חלק 3 בניין משרדים. המחקר מעודכן לגיליון תיקונים מס' 1 (לת"י 5281 חלק 3) מיוני 2014 אשר נכנס לתוקף ביולי 2014

2. שיטת המחקר

א. מתודולוגיית המחקר

לצורך הערכת עלויות של בניינים ירוקים ביחס לאלו של בניינים קונבנציונליים קיימות בספרות מספר מתודולוגיות שונות להשוואה.¹⁹ הגישה המתודולוגית אשר על פיה התבצע המחקר הנוכחי מתבססת על ניתוח הפרש העלויות בין שני בניינים תיאורטיים: האחד, בניין קונבנציונלי (בניין הייחוס), והשני, בניין ירוק (מקרה המבחן), אשר זהה לו בכל, פרט לשינויים הנדרשים שהופנמו בו בכדי לעמוד בדרישות ת"י 5281. על בסיס התכנון של שני הבניינים ובדיקת מחירי שירותים ומוצרים בשוק הבנייה הירוקה בישראל חושבו הפרשי העלויות הצפויים ביניהם.

במחקר שנעשה על-ידי Steven Winters Associates נעשה שימוש במתודולוגיה מסוג זה,²⁰ כמו גם בכמה מניתוחיו של Davis Langdon.²¹ היתרון העיקרי של גישה זו הינו שהיא מבטיחה כי המבנים העומדים להשוואה הם בעלי תכנון זהה ומחזיקים באופן קבוע את כל שאר המשתנים, למעט השינויים של בנייה ירוקה. החיסרון העיקרי בגישה זו, הינו שהיא מסתמכת על הערכות בלבד ואינה משתמשת בעלויות בנייה בפועל, אשר לעיתים, שונות מהערכות טרום-בנייה. עם זאת, עלויות בנייה בפועל יכולות להיות שונות בין יזם אחד לשני, כתלות בגורמים כגון: יכולת מיקוח, היקף פרויקטים, עסקאות ארוכות טווח עם ספקים וכד'. לכן במחקר המתבסס על עלויות בפועל של יזמים, עדיף להתבסס על מדגם של כמה יזמים ופרויקטים, ולבחון את השוני בעלויות בין פרויקטים שונים.

במחקר שנערך ע"י המועצה הישראלית לבנייה ירוקה ונכתב ע"י קוט חגי וכ"ץ דוד ובו נבחנו עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל,²² נעשה שימוש במתודולוגיה שונה מהנ"ל ואשר התבססה על עלויות בנייה בפועל של בנייני מגורים ירוקים. עלויות אלו הושאו להערכת עלויות בבניינים תיאורטיים קונבנציונליים, אשר זהים לבנייני המגורים, פרט לרכיבי הבנייה הירוקים. גישה זו התאימה למחקר על בנייני מגורים, שכן היו בנמצא שני בנייני מגורים ירוקים שנבנו על פי ת"י 5281 (גרסת 2005), ואשר היזמים שלהם שיתפו פעולה וחשפו בפני החוקרים את הרכיבים הירוקים אשר יושמו בבניינים אלו, ואת עלויותיהם. למעשה, במחקר זה נקודת המוצא של החוקרים הייתה הבניין הירוק, ועל פיו הם יצרו בניינים קונבנציונליים תיאורטיים ע"י "קילוף" הרכיבים הירוקים מהבניין הירוק.

המתודולוגיה לפיה בוצע המחקר הנוכחי שונה מזו אשר יושמה במחקר המוזכר לעיל עקב שתי מגבלות עיקריות:

1. בעת עריכת המחקר הנוכחי לא היו בנמצא בנייני משרדים ירוקים אשר הוסמכו לפי ת"י 5281 בגרסתו משנת 2011 ויכלו לשמש כבסיס מידע למחקר, ולא נמצא טעם לבחון בנקודת זמן זו בניינים אשר הוסמכו על פי התקן משנת 2005.

¹⁹ לפירוט על שיטות מחקר נפוצות ראו: קוט חגי וכ"ץ דוד, 2013, [עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל](#), המועצה הישראלית לבנייה ירוקה

²⁰ Steven Winters Associates 2004, GSA LEED Cost Study – Final Report. Submitted to U.S. General Services Administration

²¹ למשל: Davis Langdon 2004, Osting Green: a comprehensive database and costing methodology. The Davis Langdon Research Group

²² קוט חגי וכ"ץ דוד, 2013, [עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל](#), המועצה הישראלית לבנייה ירוקה

2. קיים קושי לקבל מידע מיזמים לגבי פירוט הרכיבים הירוקים של בנייני משרדים ועלויותיהם.

לאור מגבלות אלו, נמצא כי המתודולוגיה לפיה מבוצעת השוואה בין שני בניינים תיאורטיים (האחד קונבנציונלי והשני ירוק) היא המתאימה ביותר לביצוע המחקר הנוכחי. יש לציין שביחס למחקר המוזכר לעיל, תהליך העבודה במחקר הנוכחי החל מנקודת מוצא הפוכה: ראשית תוכנן בניין משרדים קונבנציונלי תיאורטי, המשקף סטנדרט בנייה של בנייני משרדים בישראל, ובמידת הצורך שונו בו רכיבים מסוימים או הוספו אליו רכיבים ירוקים שונים, בכדי ליצור בניין ירוק תיאורטי אשר עומד בת"י 5281 בדרגת כוכב אחד. כך שלמעשה הבניין הירוק זהה לבניין הקונבנציונלי, פרט לשינויים מינימליים שהופנמו בו בכדי לעמוד בדרישות התקן לבנייה ירוקה. היות והמחקר מתבסס על בניינים תיאורטיים והערכות מושכלות, ולא על בניינים אמיתיים ועלויות וניקוד בפועל, נעשה עפ"י הצורך שימוש גם בטווחים של ניקוד ועלויות, בנוסף לשימוש במספרים חד משמעיים.

בניין הייחוס שהוגדר כמשקף את בנייני המשרדים הקונבנציונליים הנבנים בישראל, הינו בניין משרדים בן 20 קומות בגובה 80 מ' הממוקם באזור התעשייה בבני ברק. בבניין יושמו מאפיינים תכנוניים, עיצוביים ופונקציונליים המייצגים את המצב הקיים (Common Practice) בתכנון מבני משרדים קונבנציונליים באופן הרחב ביותר. כך למשל חזית הבניין הינה מזכוכית מלאה בכל ההפניות, הבניין הינו ריבועי סימטרי (אורך כל פאה 33 מ'), וגובה קומה טיפוסית הינו 3.80 מ' ברוטו (2.80 מ' נטו).²³

לעיתים מזומנות, יזם הבונה בנייני משרדים בונה אותם להשכרה ללקוחות שונים. לכן הוא בונה את הגרעין והמעטפת בלבד וכל שוכר מתכנן את שטח הפנים שהוא מתכוון לשכור עפ"י צרכיו ותפיסתו. נכון לאוקטובר 2014 החלה כתיבתו של ת"י למבני גרעין ומעטפת במכון התקנים, אך עד שהתהליך יסתיים והתקן יאושר, אין באפשרות יזמים להסמיק בניינים בהם נבנו רק גרעין ומעטפת.^{24 25} לכן ההנחה במחקר היא שהבניינים התיאורטיים הם לשימושו של היזם, והוא אשר מחליט לגבי רכיבי בנייה פנימיים כמו למשל מערכת תאורה.

ההגדרה מהו רכיב בנייה ירוקה אינה חד-משמעית והיא נתונה לעתים לפרשנותו של החוקר. במחקר זה הגדרת הרכיבים הירוקים מוצגת באופן גלוי, ומבוססת על רכיבים שהוגדרו כירוקים בתקן הישראלי לבנייה ירוקה (ת"י 5281 חלק 3- דרישות לבנייני משרדים).

יש להדגיש כי הבניין הקונבנציונלי המשמש להשוואה הינו בניין העומד בדרישות החוק והתקנות השונות הנוגעות לבנייני משרדים בישראל (למשל ת"י 1045 - בידוד תרמי של בניינים), וכן מקיים את דרישות הוועדות המקומיות, תקני חניה וכד'. אי לכך, ייתכן כי הבניין הקונבנציונלי במחקר זה יקר יותר מבנייני משרדים הנבנים בישראל בפועל, במידה והם אינם עומדים בכל דרישות החוק.

²³ ראו תיאור מפורט של הבניין הירוק בפרק 3 להלן

²⁴ ראיון אישי עם אדריכל יהונתן אלעזר

²⁵ לקראת כתיבת תקן שכזה, חשוב לדעת אילו סעיפים בת"י 5281 הינם סעיפי גרעין ומעטפת, מה הניקוד הניתן בהם ומה עלותם, ועל כן בוצע ניתוח של נתונים אלו לאור ממצאי המחקר בפרק 5 – ניתוח הממצאים

היות והבניינים הינם תיאורטיים והחלטות החוקרים לגבי הניקוד שניתן לבניין הירוק לא נבדקו ע"י מכון התקנים, קיים חשש כי במחקר עלול להתקבל ניקוד שלא היה מתקבל בפועל. כדי להימנע מכך, המתודולוגיה התבססה על מנגנוני הזהירות הבאים:

- א. התקיימה הקפדת יתר על הנקודות אשר הוענקו לבניין הירוק – היכן שהיה ספק האם ניקוד מסוים אכן היה מתקבל בפועל, הוחלט להחמיר ולא לקבל את מלוא הניקוד שייתכן וכן היה מתקבל בפועל.
- ב. יעד הניקוד לבניין הירוק היה 60 - 62 נק' למרות שהניקוד הנדרש לצורך הסמכה הבסיסית ברמת כוכב אחד הינו 55 נקודות בלבד, וזאת על מנת לייצר מרווח בטחון המבטיח כי הבניין הירוק התיאורטי אכן יעמוד בדרישות התקן. בסיכום הניקוד, הבניין הירוק צפוי לקבל 61.5 נקודות.
- ג. בוצעו התייעצויות עם אנשי מקצוע בתחומים השונים לגבי הסבירות של קבלת הניקוד לכל אחד מהרכיבים.
- ד. כל החלטות החוקרים והניקוד שהתקבל הינן גלויות ושקופות לקורא, ומנומקות בגוף המחקר.

ב. שלבי המחקר

המחקר בוצע בשישה שלבים:

1. **תכנון בניין משרדים קונבנציונלי תיאורטי (בניין הייחוס)** - תוכנן בניין משרדים קונבנציונלי תיאורטי, המשקף סטנדרט בנייה של בנייני משרדים בישראל. לשם כך הוגדר בניין משרדים ריבועי סימטרי בן 20 קומות המתנשא לגובה 80 מ', כאשר שטח כל קומה 1,000 מ"ר, והוא ממוקם באזור התעשייה בבני ברק. בבניין יושמו מאפיינים תכנוניים, עיצוביים ופונקציונליים המייצגים את המצב הקיים (Common Practice) בתכנון מבני משרדים קונבנציונליים באופן הרחב ביותר.

2. **החלטה לגבי הרכיבים הירוקים אשר יוטמעו בבניין הירוק** – לאחר תכנון בניין הייחוס הקונבנציונלי, בוצעה בדיקה מהי רמת העמידה של בניין הייחוס בת"י 5281, וכמה נקודות הוא צפוי לקבל בגין רכיבים ירוקים המיושמים בבנייה קונבנציונלית. לאחר מכן בוצע ניתוח מעמיק של ת"י 5281 ונבחרו הרכיבים הירוקים אשר יוטמעו בבניין הירוק על מנת להפוך אותו לבניין ירוק ברמת הסמכה של כוכב אחד (55 - 64 נקודות). הקריטריונים המנחים לבחירת הרכיבים הירוקים מכלל הרכיבים המופיעים בתקן הינם:

- מילוי דרישות הסף המופיעות בתקן.
- רמת השכיחות ליישום בפועל של רכיב מסוים – עד כמה נפוץ רכיב מסוים בבנייה קונבנציונלית ובבנייה ירוקה של משרדים בישראל.
- עלות הרכיב ופשטות היישום – ככל שהרכיב זול יותר ופשוט ליישום, ההשערה הינה שיזמים יישמו אותו בפועל. בהגדרת הבניין הירוק, לשיקולים הכלכליים היה משקל רב יותר מאשר לשיקולים של תכנון אקלימי אופטימלי, וזאת על מנת לדמות תרחיש שוק מציאותי ככל הניתן.

- שיקול דעת של החוקרים המבוסס על היכרותם עם שוק הבנייה המקומי, ניתוחי עלות מול תועלת כלכלית וניקוד, המלצות יועצים מקצועיים אשר ליוו את המחקר, שיקולי תכנון אקלימיים בעלי רווח תפקודי גבוה או תרומה משמעותית לנוחות.

3. הערכת עלויות – בשלב העיקרי במחקר, בוצעו הערכות עלות עבור כל הרכיבים הירוקים אשר בשלב הראשון נמצאו מתאימים ליישום בבניין הירוק, והינם שונים מבנייה קונבנציונלית. ההערכות בוצעו בעזרת אנשי מקצוע ויועצים מהתחום, מחירי שוק, מחירי מחירון דקל²⁶ ועוד.

4. השוואת עלויות בין הבניין הירוק לבניין הייחוס – בוצעה השוואה בין הערכת העלות של הרכיבים הירוקים, לבין הערכת עלות רכיבים מקבילים (במידה וקיימים) בבניין הייחוס. חישוב זה מספק את הפרש העלויות, כלומר את עלות ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה בהשוואה לבניין ייחוס שנבנה בצורה קונבנציונלית, עבור כל אחד מהרכיבים. בהשוואת הרכיבים ועלויותיהם קיימות מספר אפשרויות שונות:

א. זהות - רכיב מסוים מפורט בתקן לבנייה ירוקה ועל כן נחשב כרכיב ירוק, אך הוא מקובל גם בבנייה קונבנציונלית, ולכן אין ליישמו השפעה על הפרש העלויות. למשל: יישום מערכת לניהול אנרגיה בבניין (BEMS) – מערכות כאלו מיושמות גם בבנייה קונבנציונלית (סעיף 1.2.6).

ב. רכיבים שונים בעלות זהה / דומה – בשני הבניינים קיימים רכיבים שונים אך עלותם זהה / דומה. למשל: חומרים ומוצרים בעלי תו ירוק (סעיף 4.1). חומרים ומוצרים אלו מיושמים בבניין הירוק ללא תוספת עלות, שכן עלותם אינה שונה מעלות חומרים ומוצרים ללא תו ירוק. למעשה, ע"י הגברת המודעות בתכנון ובניית בניינים קונבנציונליים, היה ניתן ליישם רכיבי בנייה ירוקים ללא תוספת עלות. במקרים שכאלו, אין השפעה על הפרש העלויות, אך קיים הפרש בניקוד בין הבניינים. בעוד הבניין הירוק קיבל את הניקוד שבסעיף (3 נק'), בניין הייחוס קיבל טווח של ניקוד: ניקוד מינימלי של אפס נקודות, המשקף מצב שהרכיב הירוק אינו מיושם למרות שאינו יקר יותר מרכיב שונה, וניקוד מקסימלי של שלוש נקודות, המשקף מצב שהרכיב כן מיושם ללא תוספת עלות. טווח הניקוד מדגיש שללא מודעות ושימת לב, קיים סיכוי נמוך כי הבניין הקונבנציונלי יצבור את הניקוד האפשרי, אך במידה וכן נרכשים מוצרים ירוקים (בין אם במודע ובין אם לא) הוא יכול לצבור אותו ללא עלות נוספת.

ג. שונות חלקית – בשני הבניינים בוצע פיתוח נופי (סעיף 2.4), הפיתוח ועלותו שונים בין הבניינים.

ד. שונות מוחלטת – רכיב הקיים בבניין הירוק בלבד. למשל: מלווה בנייה ירוקה (סעיף 8.7).

²⁶ בעת עריכת המחקר, החוקרים עשו שימוש במחירון דקל מיולי 2013 אשר מפרט את מחירי יוני 2013. בכדי להתאים את המחירים למחירי יוני 2014, בוצעה הכפלה במדד מחירי תשומה בבנייה למסחר ולמשרדים אשר ירד בתקופה זו ב-0.2%. (ראו: למ"ס 2014, [אתר למ"ס – חישובי הצמדה](#)). כמו כן, היות ומדובר בפרויקט בעל היקף עבודה של מעל 6 מיליון ₪, בהתאם להנחיות המחירון, בוצעה הפחתה בשיעור של 4% מהמחירים המפורטים במחירון (ראו: מחירון דקל יולי 2013, מאגר מחירי בנייה ותשתיות, תוספות והפחתות בגין היקף העבודה ע"מ 605). בסה"כ מקדם ההתאמה בו הוכפלו המחירים במחירון דקל לצרכי המחקר הינו: $1 \times 0.998 \times 0.96 = 0.95808$

5. ניתוח הממצאים - בוצע ניתוח של הממצאים אשר כלל: עלות ההשקעה הנוספת הכללית ולמ"ר (בש"ח ובאחוזים), השוואה בין עלויות הרכיבים השונים, עלויות רכיבים ירוקים נוספים אשר לא יושמו בבניין הירוק שבמחקר, פירוט רכיבים ירוקים בבנייה קונבנציונלית וניתוח רכיבים ירוקים של גרעין ומעטפת.

6. בחינת החיסכון הצפוי בחשמל ומים - נבחנה הכדאיות הכלכלית של בנייה ירוקה תוך הסתמכות על נתוני חסכון צפויים של חשמל ומים וניתוח של זמן החזר, תשואה ורווח של ההשקעה הנוספת

ג. מגבלות המחקר והמלצות למחקרי המשך

המחקר מנתח בניין ייחוס ובניין ירוק תיאורטיים ולכן, אך טבעי הוא שייתכנו פערים בין ההערכות המובאות במחקר, לבין הניקוד, העלויות והחיסכון של מבני משרדים שנבנו בפועל. בכדי להתמודד עם מגבלה זו, התקיימה הקפדת יתר על הניקוד אשר הוענק לבניין הירוק ע"י החוקרים, ובמקרה של ספק האם ניקוד מסוים אכן היה מתקבל בפועל ע"י מכון התקנים, הוחלט להחמיר ולא לקבל את מלוא הניקוד. כמו כן, בבניין הירוק יושמו רכיבים אשר צפויים לזכותו ב- 61.5 נק', בעוד שדרגת הסמכה בסיסית של כוכב אחד, מתקבלת החל מ- 55 נק' בלבד. בנוסף, בוצעו ניתוחים והתייעצויות עם אנשי מקצוע רבים, לגבי ההנחות במחקר, וכל החלטות של החוקרים הינן גלויות ושקופות לקורא ומנומקות בגוף המחקר. מגבלה נוספת היא שהמחקר מתמקד במבנה ייחוס ובניין ירוק ספציפיים ובדרגת הסמכה בסיסית, ולמרות שהתכנון האדריכלי נקבע כדי לייצג מבני משרדים באופן הרחב ביותר, לכל בניין הנבנה בפועל יהיה תכנון שונה וייתכן שגם דרגת הסמכה שונה. כמו כן, פרט לעלות תחזוקת הגינה, המחקר מניח כי אין הבדל (או שקיים הבדל זניח בלבד) בין עלויות התחזוקה של המערכות בבניין הירוק לאלו שבבניין הייחוס, ולכן עלויות התחזוקה אינן משפיעות על עלות ההשקעה הנוספת בבניין הירוק לעומת בניין הייחוס. בכדי להתגבר על מגבלות אלו ונוספות מומלץ לקיים את מחקרי המשך להלן:

1. רצוי לבצע מחקרים דומים המתבססים על נתוני עלויות וחיסכון של בניינים שנבנו בפועל. רצוי כי המחקר יכול מדגם גדול ככל הניתן של מבני משרדים מטיפוסים שונים, אזורי אקלים שונים וכד'. מומלץ לבצע מחקרים דומים גם על מבנים ציבוריים כגון בתי ספר, מבני אקדמיה, בתי חולים ועוד.

2. המחקר בדק את העלויות והתועלות של מבנה משרדים ירוק בדרגת הסמכה בסיסית בלבד, בהשוואה למבנה משרדים קונבנציונלי. יש לבצע מחקרי המשך אשר ייבחנו את העלויות והתועלות גם לגבי מבני משרדים בדרגות הסמכה גבוהות יותר.

3. החיסכון הצפוי מתפעול ותחזוקת בניינים ירוקים הוא בין היתר גם תוצאה של גורמים שאינם תלויים בתכונות הפיזיות של הבניינים עצמם כמו למשל:

- מחירי מוצרים ושירותים כמו חשמל, גז ומים - קיימת שונות גדולה בין מחירי אנרגיה ומים ממדינה למדינה.
- תמריצים ממשלתיים ברמה הלאומית והמקומית.
- תנאי אקלים והתנהגות המשתמשים במבנה אשר יכולים להשתנות ממדינה למדינה.

לאור הנ"ל, קיים קושי להסיק מסקנות לגבי רמת הכדאיות הכלכלית עבור מדינה מסוימת ממחקר שנערך במדינה אחרת, ²⁷ ויש לערוך מחקרים אשר יתמקדו בחיסכון הישיר הצפוי ובחיסכון הישיר בפועל במבנים ירוקים בישראל, ולהשוות את הממצאים לנתונים העולמיים בהתייחס בין היתר למתודולוגיות של המחקרים השונים, רמות מחירי אנרגיה בחו"ל ועוד.

4. בנוסף לחיסכון הישיר בחשמל ומים, מחקרים רבים מצאו שבנייה ירוקה משפיעה לחיוב באופן משמעותי על הקטנת תחלואה וימי היעדרות, הגברת פרודוקטיביות והעלאת שביעות רצון של העובדים והמשתמשים במבנה, בין היתר הודות לשפע תאורה טבעית ואיכות אוויר גבוהה. כיוון שערכה הכלכלי של הפעילות העסקית גדול בהרבה מעלויות הבנייה, התפעול והתחזוקה של מבנים, ²⁸ ערכן הכלכלי של תועלות אלו צפוי להיות גבוה מעלויות הבנייה ומהחיסכון הישיר בהוצאות על אנרגיה ומים. ²⁹ כמו כן, קיימים אספקטים כלכליים משמעותיים נוספים של בנייה ירוקה הן למשתמש והן ליזם אשר מסגרת המחקר הנוכחי לא הקיפה, וביניהם:

- הקטנת עלויות סביבתיות חיצוניות כגון פסולת בניין, זיהום אוויר ועוד;
- הבדלים במחירי המשרדים לקנייה ולהשכרה;
- הבדלים בקצב מכירה ואכלוס המבנים;
- הבדלים במתן אשראי על-ידי בנקים ומקומות מימון אחרים.

לכן, יש לערוך מחקרים אשר יתמקדו בחיסכון הצפוי ובחיסכון בפועל במבנים ירוקים בישראל, בדגש על תועלות עקיפות וחיצוניות (בריאות, פרודוקטיביות, עלויות סביבתיות) והאספקטים הכלכליים הנ"ל.

5. יש לערוך מחקר אשר יתמקד באופטימיזציה מעטפת של מבנה משרדים לשם השגת יעילות אנרגטית ברמות שונות, ובשילוב שיקולי עלות. מומלץ לבצע זאת בסוגים שונים של מבני משרדים ותוך סקירה של מגוון פתרונות אפשריים.

²⁷ קוט חגי וכ"ץ דוד, 2013, [עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל](#), המועצה הישראלית לבנייה ירוקה, ע"מ 25

²⁸ "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). " מתוך: קוט חגי וכ"ץ דוד, 2013, [עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל](#), המועצה הישראלית לבנייה ירוקה, ע"מ 17

²⁹ להרחבה על ממצאי מחקרים בנוגע לתועלות של בנייה ירוקה בארץ ובעולם ראו למשל:

- קוט חגי וכ"ץ דוד, 2013, [עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל](#), המועצה הישראלית לבנייה ירוקה, ע"מ 16-25
- המועצה לבנייה ירוקה, 2014, [עלויות ותועלות של בנייה ירוקה בישראל ובעולם](#)
- WGBC 2013, [The Business Case for Green Building](#)

3. תיאור בניין הייחוס והבניין הירוק

א. בניין הייחוס

באפיון בניין הייחוס לצורך המחקר ההשוואתי יושומו מאפיינים תכנוניים, עיצוביים ופונקציונליים המייצגים את המצב הקיים (Common Practice) בתכנון מבני משרדים בישראל באופן הרחב ביותר. מאפייני גיאומטריית המבנה, תצורת חלוקת הפנים ואפיון מעטפת הזכוכית נקבעו עפ"י מדגם מייצג של מבני משרדים בקנה מידה דומה הנבנים כיום במרכזי עסקים עירוניים בישראל. חשוב לציין שכל מרכיבי המבנה שתוכנן, לרבות רכיבי המעטפת, הוגדרו באופן שיענה על דרישות התקנים הרלוונטיים (כגון ת"י 1045) מחד ועל פי המגמה העיצובית הרווחת מאידך; כך לדוגמה עבור חיפוי המבנה בחזית זכוכית מלאה (מרצפה לתקרה) בכל ההפניות – מגמה עיצובית נפוצה, נדרשת זכוכית סלקטיבית ברמה גבוהה כדי לעמוד בדרישות ת"י 1045 לבידוד תרמי, במיוחד מבחינת נתון מקדם רווח החום הסולרי (ראו פירוט בסעיף 1.1.3 בפרק 4 ונספח ב' בפרק 8).

ניתן לחלק את השיקולים באפיון בניין הייחוס עפ"י הפרמטרים הבאים:

1. סביבה עירונית

בקנה המידה הארצי, מתוך אזורי האקלים השונים³⁰ נבחר אקלים אזור החוף כמייצג, וזאת בשל הריכוז הרב ביותר של מבני משרדים בתחומו.³¹

מתחמי מבני משרדים יכולים להימצא במרקמים עירוניים שונים כגון: מתחמי מע"ר (מרכזי עסקים ראשיים) בלב העיר כדוגמת מתחם רוטשילד בתל-אביב, מתחמים מתפתחים בשולי העיר לאורך דרכים ראשיות שיועדו בעבר לתעשייה קלה / מוסכים כגון מתחם הרצליה פיתוח, בני ברק או הבורסה ברמת גן, וקמפוסים חדשים, כאלה שבהם נבנות תשתיות חדשות עפ"י תכנון עירוני חדש כגון קריית שדה התעופה. מתוקף שכיחותו, המודל הנבחר כמייצג הוא זה של מתחם תעשייה קלה לשעבר בשולי העיר, בתוך אזור המשלב בנייה חדשה וקיימת במגרשים יחסית מוגבלים בגודלם ותשתית עירונית קיימת. מתחם התעשייה בבני ברק נבחר כמיקום המייצג עבור הבניינים.



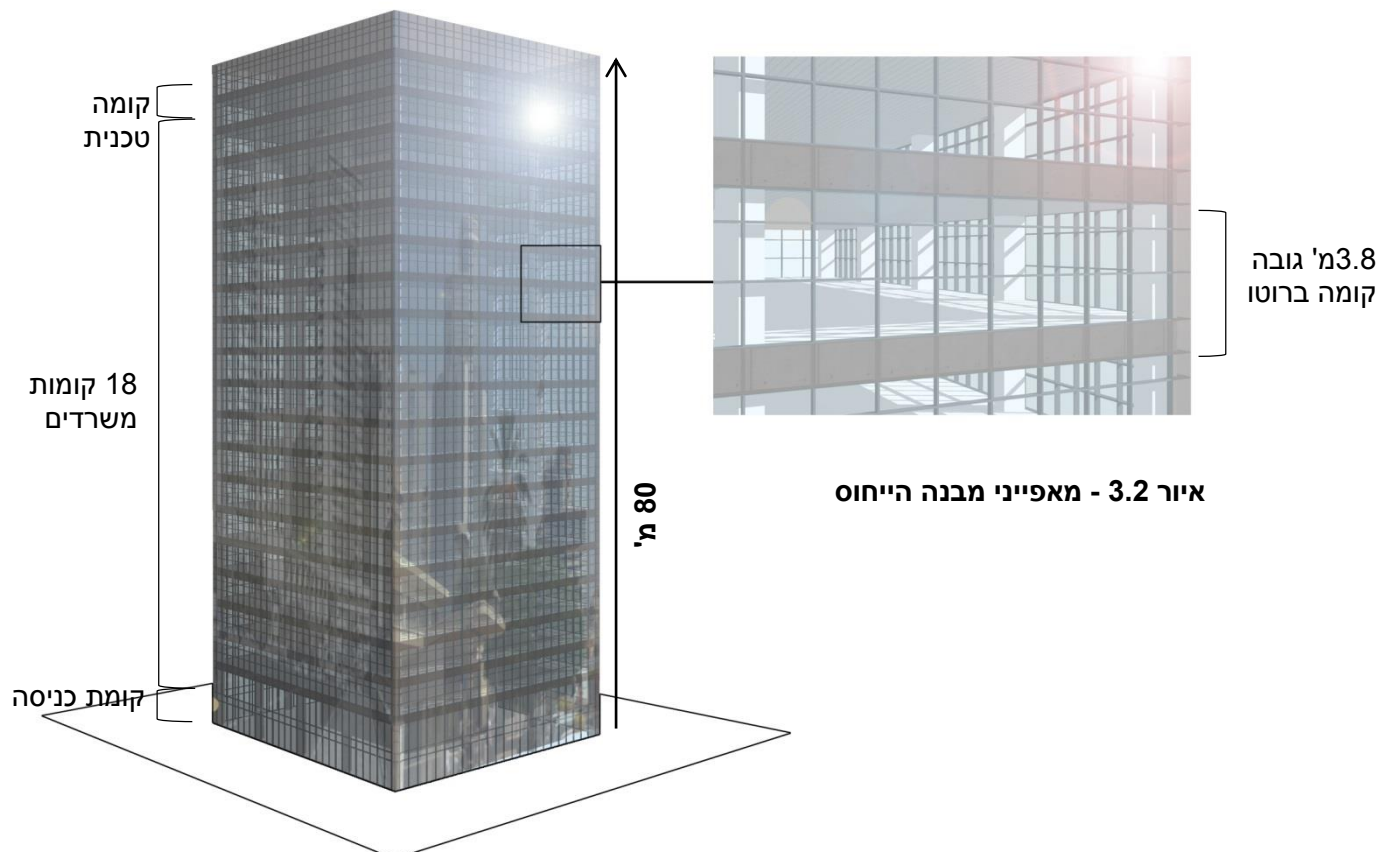
איור 3.1 - אזור התעשייה בני ברק (מקור: עיריית בני ברק)

³⁰ עפ"י ת"י 1045 חלק 10 – בידוד תרמי של בניינים: סיווג לפי אזורי אקלים
³¹ שוורץ אליעזר וביטון אילן 2010, תיאור וניתוח מדיניות התעסוקה בישראל, מרכז המחקר והמידע של הכנסת

מתחם התעשייה בבני ברק, בדומה לאחרים מסוגו, מאופיין בנגישות גבוהה מעורקי תחבורה ראשיים, שטחים פתוחים ומגרשים פנויים מועטים. שטח המגרש נקבע על כ 2,400 מ"ר כאשר תכנית המבנה הינה כ 45% כלומר 1,100 מ"ר.

2. תכנון נפחי - צורה ופרופורציה

בניין הייחוס מתנשא לגובה 80 מ' ובו 20 קומות מתוכן 18 קומות משרדים, קומת קרקע כפולה וקומת מערכות טכניות על הגג. גובה זה נקבע עפ"י הגובה המקובל למגדלי המשרדים בתכניות המאושרות באזור התכנון. על מנת לא לתת עדיפות לצורה גיאומטרית כזו או אחרת, אשר במקרה אמת סביר להניח שתהיה מוכתבת מצורת המגרש, צורת התכנית היא של ריבוע סימטרי ללא התייחסות תכנונית או עיצובית להפניה ספציפית. גובה קומה טיפוסית הינו 3.80 מ' ברוטו מתוכו כ 2.80 מ' גובה החלל הנקי.

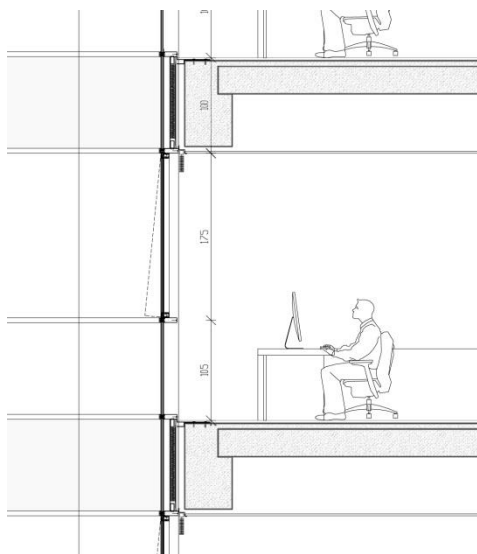


3. תכנון החניון התת קרקעי

החניון התת קרקעי של בניין הייחוס משתרע על פני כ 95% משטח המגרש (כ- 2,090 מ"ר), וכולל בשוליו קידוח החדרת מי נגר לשכבת האקוויפר על פי הנחיות הועדות המקומיות עפ"י תמ"א 4/ב/34. החניון כולל 3 קומות – סך מספר החניות נקבע על פי יחס של חניה אחת לכל 80 מ"ר,³² אשר על פי שטחי הבניין מסתכם בכ- 200 חניות. מפלס החניון העליון מתוכנן בגובה המאפשר מצע לגידול עצים בוגרים. עומק החפירה אם כך נקבע לכ- 10 מטרים.

4. מעטפת המבנה

המעטפת כוללת חיפוי זכוכית מלא מרצפה עד תקרה, זיגוג כפול בזכוכית LOW E סלקטיבית. הזיגוג זהה לכל הפניות הבניין כולל וילון גלילה או תריס ונציאני פנימי בגוון בינוני בכל מודול זכוכית וללא הצללה חיצונית. החלונות מתוכננים לפתיחה אחת ל 3 מודולים. בין הקומות קיימת קורה יורדת היקפית של כ- 90 ס"מ (ספנדריל) המהווה גם מחסום למעבר עשן בין הקומות. הקורה מחופה בקופסת צל הכוללת בידוד צמר סלעים בעובי 5 ס"מ, זכוכית מאותו הסוג שבשכבה החיצונית שבמבנה.



איור 3.3 - חתך קומת משרדים טיפוסית

³² תקן החניה כיום (2014) נמצא לקראת עדכון של הורדה משמעותית של תקני החניה במשרדים ביישובי גלעין. קביעת מספר החניות במחקר התבססה על הנוהג הרווח בוועדה המקומית להקטין משמעותית את מספר מקומות החניה לפי התקן שבתוקף (מקום חניה ל 40 מ"ר משרדים) לקראת יישום התקן החדש

5. תצורת תכנון החלל הפנימי

החלוקה הפנימית כוללת חלוקה בין שטחי משרדים פרטיים (Cellular) לבין חללי עבודה משותפים (Open space) באופן סימטרי כך שכל הפניה כוללת מספר זהה של משרדים משני הסוגים. תמהיל זה נבחר מתוך ההכרה בהשפעה של הסידור הפנימי על המאזן האנרגטי של המבנה כולו (וכפועל יוצא הניקוד למבנה הירוק). כך התקבל תכנון סימטרי המשקף איזון בין שתי החלופות לכל ההפניות באופן זהה.



איור 3.4 - תכנית קומת משרדים טיפוסית

קומה טיפוסית

שטח ברוטו בניה – כ 1,090 מ"ר (30 מ' X 30 מ')
שטח ברוטו רישוי קומה טיפוסית – כ 1,050 מ"ר
מתוכנן שטח עיקרי – כ 845 מ"ר
שטח שירות – 205 מ"ר
יחס ברוטו נטו – 1.3

סה"כ הבניין

כ – 21,200 מ"ר ברוטו בניה
כ – 20,500 ברוטו רישוי
מתוכנן כ 15,710 עיקרי למשרדים
(כולל 500 מ"ר שטחי מסחר בקומת הקרקע)

6. מערכות מבנה ראשיות

קונסטרוקציה - קונסטרוקציית מסגרות (עמודים וקורות) בבטון מזויין עם קורות יורדות בהיקף (ספנדריל) ומילואות, רצפת ספנקריט, בחיפוי מערכת קיר מסך אלומיניום וזכוכית (בכל החזיתות) המיושמת בשיטת STICK SYSTEM.

מערכות תאורה – מערכת תאורת T5 בעלת עוצמת הארה של 560 לוקס בממוצע, וכן מערכת חיישני נוכחות בשטחי העבודה.

מערכת מיזוג אוויר – מערכת מיזוג אוויר מרכזית הפועלת עפ"י עקרון עיבוי באוויר, בעלת נצילות אנרגטית בדרגה B, הכוללת בקרת משתמשים עצמאית.

מערכת מים – עפ"י הוראות הל"ת (הוראות למתקני תברואה), כוללת יישום אמצעים לחיסכון במים כדוגמת ברזים אוטומטיים, מערכת לניטור דליפות, ויישום ברזי סולנואיד לוויסות צריכת המים.

מערכת ניהול אנרגיה בבניין – מערכת חשמל הכוללת מערכת שליטה ממוחשבת מרכזית (Building Energy Management System - BEMS).

ב. הבניין הירוק

הבניין הירוק כולל התאמת בניין הייחוס לעמידה בת"י 5281 ברמת כוכב אחד. מלבד דרישות סף שחלקן פרוצדורליות ודרישות אחרות הנוגעות לתחומי ניהול, תחבורה וכיו"ב, ההתאמה לתקן הבנייה הירוקה מבחינה תכנונית התמקדה בשני מישורים עיקריים: מרכיב התכנון האדריכלי ומרכיב תכנון מערכות המבנה. חשוב לציין כי האופטימיזציה לקראת עמידה בת"י 5281 מבוצעת במחקר זה מתוך נקודת מבט פרגמטית המתחשבת בכוחות השוק ובקונבנציה התכנונית בארץ, ולכן אין לראות בתכנון זה המלצה של המחברים לתכנון אופטימלי של מבנה משרדים בר קיימא אלא לחלופה אפשרית למבנה משרדים העומד בדרישות התקן הישראלי לבנייה ירוקה (ראו הרחבה על גישת תכנון אקלימי אינטגרטיבי של מבני משרדים בנספח א' בפרק 8).

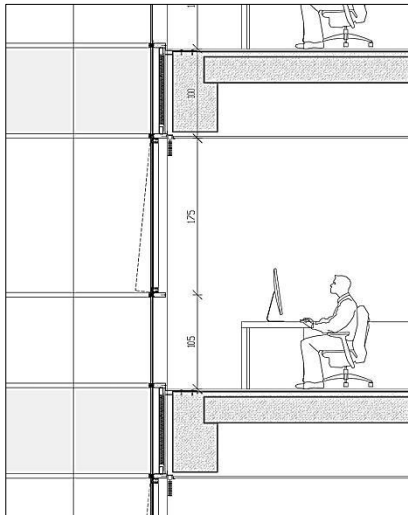
העיקרון שהנחה את התאמת הרובד האדריכלי-תכנוני לתקן לבנייה ירוקה, היה לבחון את מבנה הייחוס לפי העקרונות הפאסיביים של תכנון ביו-אקלימי, ולמקסם את התפקוד של מבנה הייחוס על פי קריטריונים אלה באמצעים הפשוטים, הזולים והמקובלים בשוק ותוך השפעה מינימלית על התפקוד הפונקציונלי והרעיון העיצובי. מכיוון שהתכנון הקונבנציונלי כולל בתוכו חשיפה גבוהה לנוף ולתאורה טבעית (ע"י שטחי זיגוג נרחבים), העמידה במאפיינים בתקן המתייחסים לתכנון לתאורה טבעית ואוורור מושגים בקלות יחסית. אכן הנגף העיקרית הייתה בתכנון מעטפת המבנה, שדרשה חשיבה תכנונית מחודשת על מנת לעמוד בדרישה המינימלית לדירוג אנרגטי ברמה C, עפ"י ת"י 5282 חלק 2 (דירוג בניינים לפי צריכת אנרגיה: בנייני משרדים). הגישות התיאורית והמרשמית בתקן זה לא מאפשרות חישוב מבנה בזיגוג מלא ולכן החישוב התבצע בעזרת תוכנה להדמיה תרמית (DESIGN BUILDER) עפ"י עקרונות השיטה התפקודית.³³ הבדיקה בתוכנה, שהתבצעה באופן פרמטרי וכללה בדיקת אפשרויות שונות לשיפור הדירוג האנרגטי, הסתכמה בשינוי תכנוני של מעטפת הזכוכית להקטנת שטחי הזכוכית בחזית המזרחית ובחזית המערבית ויישום הצללה בחזית הדרומית (כמפורט באיור 3.5 להלן).³⁴

רובד תכנון מערכות המבנה כלל יישום של הטכניקות הזמינות והמקובלות לשימוש במערכות בעלות נצילות אנרגטית גבוהה ומערכות חסכוניות במים כמפורט בפרקים הבאים, על פי הגדרות המאפיינים והסדר בו הם מופיעים בתקן.

³³ ההדמיות הממוחשבות לבדיקת הדירוג האנרגטי של הבניינים בוצעו ע"י מיכאל לוי – מומחה לייעוץ אנרגטי לבנייה ירוקה. ראו הרחבה בסעיף 1.1.3 בפרק 4

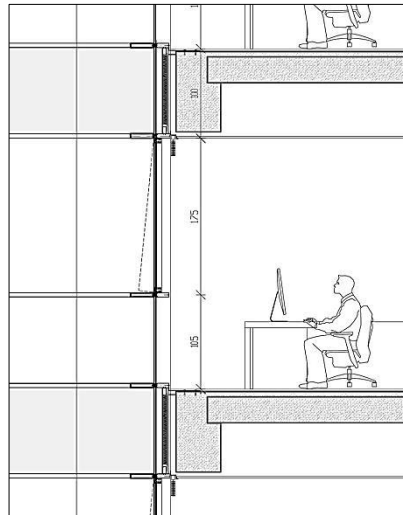
³⁴ באופטימיזציה שבוצעה על מעטפת המבנה לעמידה בדירוג אנרגטי ברמה C, ניכרת התייחסות חשובה להפניות המבנה ולשונות בניהן, אך ברמה זו עדיין מתאפשר תכנון בשטחי זיגוג גבוהים יחסית

התאמת מעטפת הבניין בבניין הירוק



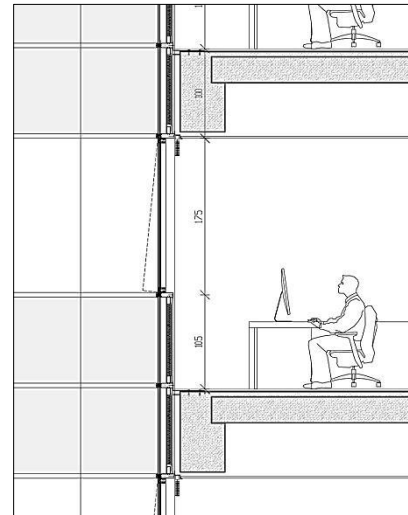
A

חזית צפונית – זכוכית רצפה-
תקרה בגובה 2.80 מ' ללא הצללה



B

חזית דרומית – זכוכית רצפה-
תקרה בגובה 2.80 מ' בתוספת
פרופילי הצללה אופקיים בעומק 20
ס"מ עפ"י חלוקת פרופילי
האלומיניום בחזית בניין הייחוס



C

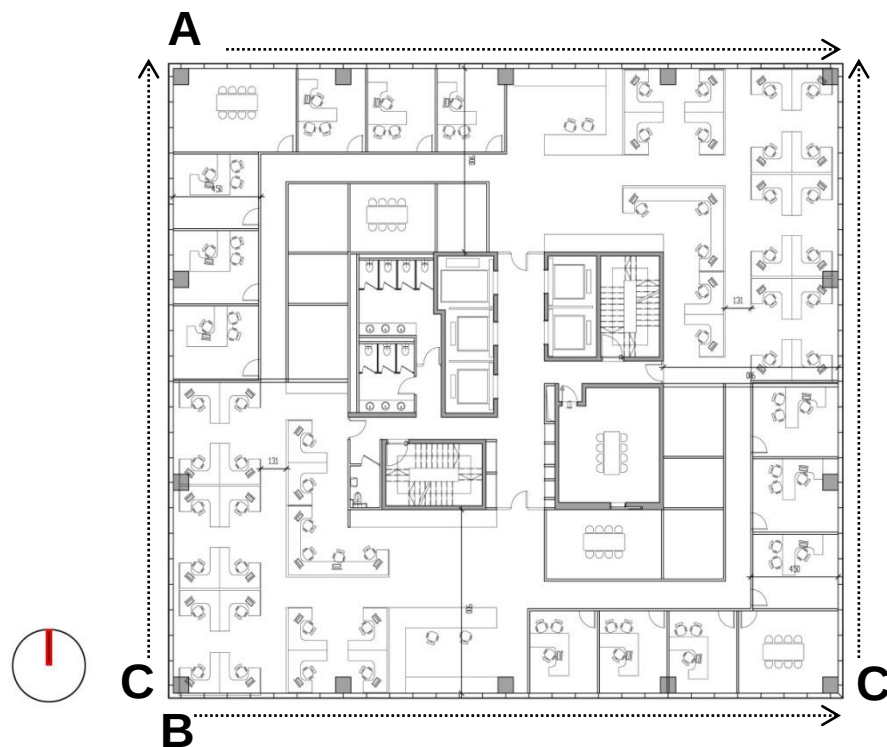
חזית מזרחית / מערבית – הקטנת
החשיפה מ' 2.80 ל' 1.75 מ'

חזית C

הקטנת חשיפה
למזרח ומערב

חזית B

תוספת הצללה אופקית
בחזית דרומית



איור 3.5 - פירוט הבניין הירוק

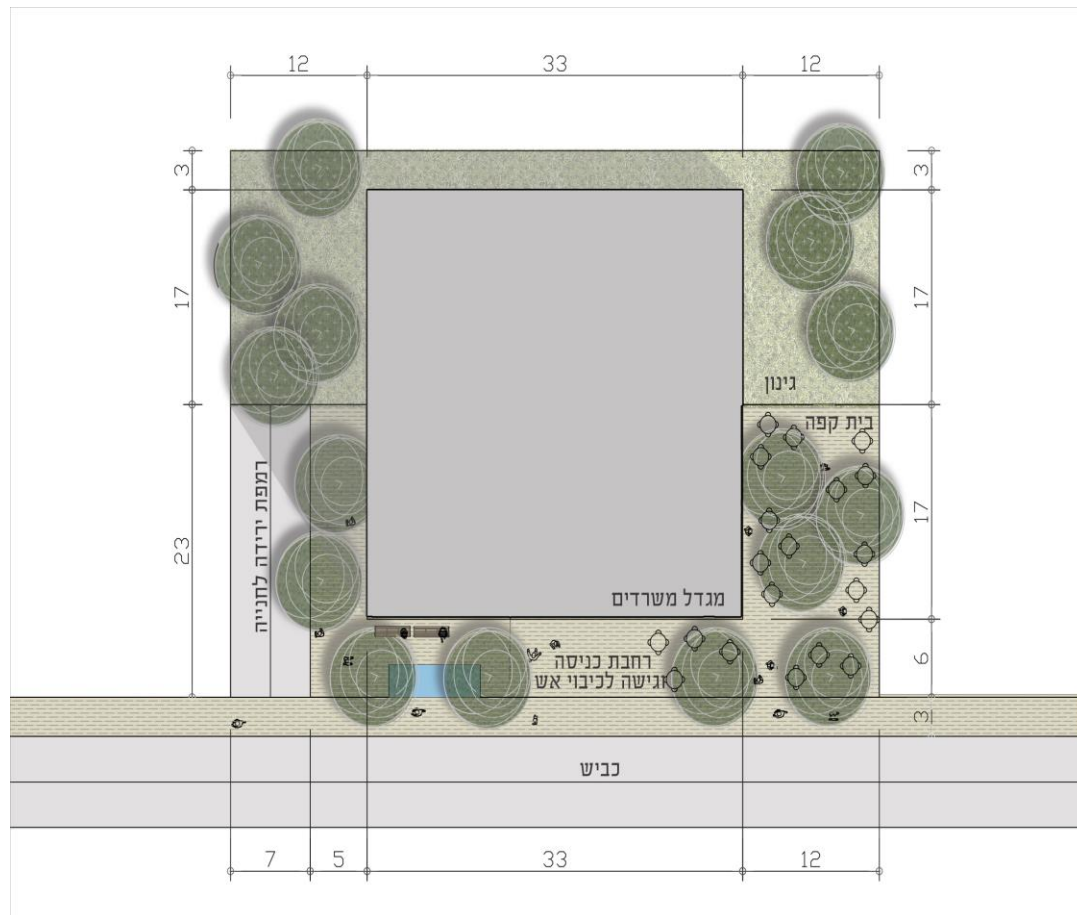
ג. הפיתוח הנופי בתחום האתר³⁵

בשני הבניינים (בניין הייחוס והבניין הירוק) הפיתוח הנופי סביב הבניין תוכנן תוך מחשבה על כניסה לבניין דרך רחבת כניסה עירונית בחזית, ורחבת בית קפה צידית. הכניסה עצמה נשארה פנויה, כמרחב רב תכליתי לפעילות וכן כרחבת כיבוי אש, בעת הצורך. רמפת הירידה לחנייה הוצמדה לצד המגרש, כשהמדרכה נשארה מרוצפת והמשכית.

בבניין הירוק, בשל הקרבה של הבניין לגבול המגרש, גונן צדו האחורי, דבר התורם ליצירת מיקרו אקלים נעים וסביבה ירוקה ומרגיעה. אחת הפינות המגוננות תושאר ללא מרתף תחתיה, להחדרת מי נגר, כך שניתן יהיה לרכז את כל מי הגשמים במגרש אליה. כמות מרבית של עצים בוגרים תוכננו במגרש ליצירת אפקט מהיר של הצללה. בתי הגידול לעצים כוללים מצע בעומק של 80 ס"מ בשטח מקסימלי של 50 מ"ר לעץ, וכן אמצעי עגינה מלאכותיים, וזאת בתיאום עם תכנון הקונסטרוקציה. בחירת העצים והצמחייה הינה בהתאם לאזור האקלימי, מחשבה על מידת ההצללה הרצויה ואיתור צמחייה חסכונית במים. הרכב הגינה דומה ל"גינה משופרת" בנספח ג' לת"י 5281.³⁶ מטרת מיקום אלמנט המים בחזית המבנה הינה מיתון אקלימי, ויצירת מרחב מרגיע היוצר מקום התכנסות נעים לאורך הרחוב. סה"כ גודל השטח המרוצף הינו כ- 590 מ"ר, שטח הגינות הינו כ- 580 מ"ר, וצל העצים מכסה כ- 45% משטח הפיתוח שמחוץ לתכנית (ראו סעיף 2.4 בפרק 4 להרחבה).

בבניין הייחוס הפיתוח הנופי דומה לנ"ל בהבדלים הבאים: השטח המרוצף גדול יותר בכ- 290 מ"ר על חשבון הקטנת שטח הגינות בהתאמה, מיושמים עצים צעירים בכמות הקטנה בחצי מכמותם בבניין הירוק, והרכב הגינה דומה ל"גינת הייחוס" בנספח ג' לת"י 5281.

³⁵ אפיון הפיתוח הנופי בוצע ע"י טלי וקסלר – אדריכלית נוף, מייסדת משרד נחלת הכלל
³⁶ דרורי דפנה ושביב עדנה, נספח ג' לת"י 5281, מכון התקנים הישראלי, ע"מ 57 - 58



איור 3.6 - תכנית הפיתוח הנופי בבניין הירוק

4. הערכת עלויות של רכיבים בבניין הירוק בהשוואה לבניין הייחוס

בפרק זה יפורטו הרכיבים הירוקים אשר יושמו בבניין הירוק ונקבעו לפי התקן הישראלי לבנייה ירוקה- ת"י 5281 בגרסתו משנת 2011 (כולל גיליון תיקון מס' 1 מיוני 2014). בתחילת כל סעיף ³⁷ מובא תיאור של הרכיבים הירוקים אשר יושמו בבניין והשוואתם לרכיבים דומים בבניין הייחוס, וכן בחינה של הניקוד הצפוי לשני הבניינים לאור עמידתם בסעיפי התקן. במידת הצורך מופיעה טבלה המרכזת את עלויות הבנייה בבניין הירוק ומשווה אותן לעלויות בניין הייחוס, כדי לקבל את עלות ההשקעה הנוספת בבניין הירוק. בכדי להקל על הקורא, הרכיבים השונים סודרו על-פי מבנה ת"י 5281. למעט במקרים בהם צוין אחרת, העלויות המוערכות הן בש"ח במחירי יוני 2014, ללא מע"מ, והינן עלויות ליזם, הכוללות חומרים, שכר עבודה, רווח קבלני וכד'.

כאמור, המתודולוגיה שנבחרה לצורך מחקר זה הינה הערכת עלויות של רכיבים ירוקים אשר הוטמעו בבניין הירוק (ושונים בעלותם מרכיבים בבנייה קונבנציונלית) ³⁸ והשוואתה להערכת העלויות בבניין ייחוס קונבנציונלי העומד בדרישות החוק ותקנות הבנייה. הבניין הירוק זה לבניין הייחוס, פרט לשינויים הנדרשים בכדי לעמוד בדרישות התקן לבנייה ירוקה בדרגה בסיסית של כוכב אחד. יתרונותיה של מתודולוגיה זו פורטו בפרק 2: שיטות המחקר. כאמור, לצורך ההשוואה הוגדר בניין ייחוס תיאורטי העונה לדרישות החוק ותקנות הבנייה, ובכללם ת"י 1045 (בידוד תרמי של בניינים) בגרסתו המעודכנת מספטמבר 2011, שכן זהו תקן מחייב במדינת ישראל מתוקף תקנות התכנון והבנייה 1970 (חלק ה' סימן ג סעיף 5.39). בחישוב העלויות נלקחו בחשבון 18 הקומות הטיפוסיות בלבד, שכן ההנחה היא שקומת הקרקע הכפולה (לובי כניסה) וקומת המערכות הטכניות הינן דומות או זהות בשני הבניינים. בפרק להלן פורטו רק אותם סעיפים אשר יושמו בבניין הירוק: כאלו המהווים תנאי סף או כאלו אשר זיכו את הבניין הירוק בניקוד.

³⁷ בת"י 5281 נעשה שימוש במילה "מאפיינים" לתיאור הסעיפים השונים המרכיבים את התקן. במחקר נעשה שימוש במילה

"סעיפים" היות והיא שכיחה יותר בשפה היומיומית

³⁸ בחישוב נלקחו בחשבון רק אותם רכיבים ירוקים אשר עלותם שונה מרכיבים בבנייה קונבנציונלית. כך למשל לא נלקחו בחשבון חזית הזכוכית הדרומית וחלונות נפתחים, אשר משמשים לחימום וקירור פאסיביים, היות ומדובר באותה חזית וחלונות אשר היו מיושמים בבניין קונבנציונלי

1. אנרגיה

1.1.1 תכנון ביו – אקלימי – חימום וקירור פסיביים

תנאי סף – ביצוע ניתוח אקלימי. ביצוע הניתוח כלול בעבודתו של היועץ לבנייה ירוקה, ולכן עלות הניתוח כלולה בעלות היועץ (ראו סעיף 8.7).

מערכות פסיביות – ניתן ניקוד בהתאם לתרומת מערכות אלו לנצילות האנרגיה בבניין. מבחינת סעיף זה, אין הבדל בין בניין הייחוס והבניין הירוק. סביר ששניהם יקבלו 2 נקודות כיוון ש- 30% משטחי המבנה מושפעים ממערכות פסיביות: חלק מהשטחים מושפעים מחימום סולארי פסיבי בגזרה הדרומית (בשל החשיפה הגדולה של המבנה לקרינה סולארית בגזרה זו), וחלקם ע"י אוורור טבעי מחלונות נפתחים. היות ורכיבים אלו מקובלים גם בבנייה קונבנציונלית וזהים בין הבניינים, אין לרכיבים אלו השפעה על עלות ההשקעה הנוספת.

הרכיב הירוק	בניין הייחוס			בניין ירוק		
	אופן חישוב עלות	סה"כ עלות	ניקוד	אופן חישוב עלות	סה"כ עלות	ניקוד
ביצוע ניתוח אקלימי	לא מבוצע	0	0	כלול בעבודת יועץ בנייה ירוקה	כלול בסעיף 8.7	0 – תנאי סף
מערכות פסיביות	זהה בשני הבניינים	-	2	זהה בשני הבניינים	-	2
סה"כ		-	2	הפרש העלויות כלול בסעיף 8.7		2

1.1.2 תכנון ביו-אקלימי – שמש וצל

א. תנאי סף – ביצוע ניתוח הצללות. ביצוע הניתוח כלול בעבודתו של היועץ לבנייה ירוקה, ולכן עלות הניתוח כלולה בעלות היועץ (ראו סעיף 8.7).

ב. חשיפת גג הבניין לשמש (סעיף ב-1) – מידת חשיפתו של הגג לקרינת השמש תלויה בתכנון ספציפי. כיוון שנבחר מרקם עירוני הומוגני עם מבנים בגובה אחיד, ההנחה היא שגג המבנה וגגות המבנים הסמוכים יהיו חשופים לקרינת השמש כנדרש על מנת לקבל את הניקוד בסעיף זה (1 נק') בשני הבניינים באופן זהה, ועל כן אין השפעה על עלות ההשקעה הנוספת בבניין הירוק.³⁹

³⁹ התקן מעניק 1 נק' על עצם חשיפת הגג לשמש, על אף שבבנייני משרדים לא תמיד הגג מנוצל ליישום של קולטי שמש או תאים פוטו-וולטאים

ג. התקנת אמצעי הצללה ב- 20% מהשטח הפתוח (סעיף ב-4) – בבניין הייחוס יושמו 8 עצים צעירים בלבד והם מצלים על כ- 8% בלבד מהשטח הפתוח. בבניין הירוק יושמו 16 עצים בוגרים המצלים על כ- 45% מהשטח הפתוח (1 נק'). עלות העצים נכללת בסעיף אי החום העירוני (2.4) בהמשך (להרחבה ראו תכנית פיתוח נופי בבניין הירוק בפרק 3 ואיור 3.6).

ד. חשיפה לשמש של:

- חזית דרומית של הבניין (סעיף ב-2)
- השטח הפתוח של הבניין (סעיף ב-3)
- גגות של בניינים סמוכים (סעיף ד-1)
- חזית דרומית של בניינים סמוכים (סעיף ד-2)
- השטח הפתוח בבניינים סמוכים (סעיף ד-3)

כל אלו תלויים בתכנון ספציפי, שהרי מיקום המבנה באתר ונתוני בניינים סמוכים, יכולים לאפשר או למנוע את החשיפה לשמש, הנדרשת בכדי לקבל את הניקוד האפשרי בתתי סעיפים אלו (1 נקודה לכל תת סעיף שהוזכר לעיל ובסה"כ 5 נקודות). עקב חוסר הוודאות, נלקחה הנחה מחמירה לפיה הבניין הירוק לא יעמוד בדרישות תתי סעיפים אלו. זוהי הערכת מינימום לניקוד אשר אפשר לקבל בסעיף זה, והינה אחת ההנחות שמהוות את מנגנוני הזהירות אשר יושמו במחקר כדי להימנע מניקוד שאולי לא היה מתקבל בפועל.

הרכיב הירוק	בניין הייחוס			בניין ירוק		
	אופן חישוב עלות	סה"כ עלות	ניקוד	אופן חישוב עלות	סה"כ עלות	ניקוד
ביצוע ניתוח הצללות	לא מבוצע	0	0	כלול בעבודת יועץ בנייה ירוקה	כלול בסעיף 8.7	0 – תנאי סף
גג בניין חשוף לשמש	זהה בשני הבניינים	-	1	זהה בשני הבניינים	-	1
התקנת אמצעי הצללה בשטח הפתוח	8 עצים צעירים המצלים על כ-8% מהשטח הפתוח	כלול בסעיף אי 2.4 - החום העירוני	0	16 עצים בוגרים המצלים על כ-45% מהשטח הפתוח	כלול בסעיף אי 2.4 - החום העירוני	1
סה"כ		-	1	הפרש העלויות כלול בסעיפים 2.4 ו- 8.7		2

1.1.3- דירוג אנרגטי לפי ת"י 5282 חלק 2

בניין הייחוס

מעטפת הבניין יוצרת חשיפה גבוהה של חללי הפנים לקרינת השמש, ועל כן, בכדי לעמוד בדרישות ת"י 1045,⁴⁰ נדרשה זכוכית בידודית זהה לזו שיושמה בבניין הירוק (ראו להלן), ולכן אין הבדל בעלות רכיב זה בין שני הבניינים (להרחבה ראו פרק 8 נספח ב - חישוב נתוני זכוכית על מנת לעמוד בת"י 1045).

בניין ירוק

תנאי סף – יש לעמוד לפחות בדירוג אנרגטי בדרגה C לפי ת"י 5282 חלק 2 (דירוג בניינים לפי צריכת אנרגיה: בנייני משרדים). המידול נעשה בעזרת תוכנת Energy Plus V7.2 דרך ממשק Design Builder עפ"י הבדיקה התפקודית המתוארת בתקן, ע"י מיכאל לוי - מומחה ליעוץ אנרגטי לבנייה ירוקה. עפ"י הבדיקה שבוצעה⁴¹ נמצא שהדירוג האנרגטי של בניין הייחוס הינו E והוא אינו עומד בתנאי הסף הנ"ל. בכדי שהבניין הירוק יעמוד בתנאי הסף יושמו בו הרכיבים והמערכות הבאים:

- זכוכית – יושמה זכוכית בידודית מחוסמת בעלת הנתונים הבאים: עובי: 6-12-6 מילוי אוויר, LT=51%, SHGC=28%, U value = 1.3 (לדוגמא זכוכית מסוג Sunguard 51/28).
- הקטנת החשיפה לשמש בחזיתות מערבית ומזרחית מ 2.8 מ' לכ- 1.75 מ' - ע"י בניית קופסת צל פנימית מהרצפה עד גובה 1.05 מ'.
- פרופילי הצללה בחזית הדרומית – בחזית הדרומית יושמו פרופילי הצללה אופקיים ע"י הארכת פרופילי האלומיניום הקיימים כלפי חוץ ב- 20 ס"מ. בכל קומה ישנם 3 פרופילי הצללה באורך 33 מ' (אורך החזית) כל אחד – ראו איור 3.5 להמחשה.

הערה: ע"י יישום פרופילי הצללה באורך של 40 - 60 ס"מ ניתן להגיע ליעילות הצללה גבוהה יותר וזאת בעלות של כ- 500 - 750 ₪ למ' אורך.

- מערכת תאורה הכוללת בקרת תאורה עם דימר – ראו סעיף 1.2.1

⁴⁰ ההנחיות לתכונות מינימליות של הזכוכית בכדי שבניין הייחוס יעמוד בת"י 1045, התקבלו עפ"י השיטה המרשמית ממהנדסת רוזה גולדין - גולד הנדסה ייעוץ תרמי למבנים בע"מ

⁴¹ ההנחות לבדיקה התפקודית שבוצעה מפורטות בנספח ג בפרק 8. בבדיקה נבדקה קומה אמצעית טיפוסית לקביעת הדירוג האנרגטי הכולל של כל בניין. הדירוג האנרגטי של כל בניין נקבע על פי אחוז השיפור בצריכת האנרגיה למ"ר רצפה, בין משרד הייחוס שבתוכנה (EPref) לבין המשרד המתוכנן (EPdes) על פי הנוסחה: $IP=100 \cdot (EPref-EPdes)/EPref$. החישובים מבוצעים עבור שנה אקלימית טיפוסית בהתאם למיקום הבניין. נתוני השנה האקלימית של המיקום כוללים את השינויים מדי שעה של טמפרטורת האוויר, הקרינה הסולארית הישירה והמפוזרת על משטח אופקי, לחות האוויר ומהירות הרוח. בחישוב צריכת האנרגיה השנתית הצפויה, נלקחים בחשבון האלמנטים של מעטפת המבנה כגון: תכונות הבידוד התרמי והמסה התרמית, גוון קירות חוץ וגג, תכונות החלונות, אמצעי ההצללה ורמת האטימות לאוויר של חלונות ודלתות

בעקבות השינויים הנ"ל תוצאות הבדיקה התפקודית הראו כי אחוזי השיפור של הבניין הירוק (ביחס למבנה הייחוס שבתוכנה) הינם 29.7% והדירוג האנרגטי של הבניין הינו C (להרחבה ראו פרק 8 נספח ג - הנחות היסוד לבדיקה התפקודית לפי ת"י 5282-2)

בניין ירוק			בניין הייחוס			הרכיב הירוק
ניקוד	סה"כ עלות	אופן חישוב עלות	ניקוד	סה"כ עלות	אופן חישוב עלות	
5	-	זזה בשני הבניינים	0	-	זזה בשני הבניינים	זכוכית
	$18 \times 2 \times 33 \times 150 = 178,200$	עלות קופסת צל: 150 ש"ח למ"ר ⁴²		0	לא מבוצע	הקטנת חשיפה במזרח ומערב ע"י קופסת צל
	$3 \times 18 \times 33 \times 250 = 445,500$	250 ש"ח למטר אורך		0	לא מבוצע	פרופילי הצללה בחזית הדרומית
	כלול בסעיף 1.2.1	כלול בסעיף 1.2.1 ביצועים אנרגטיים של תאורה		0	לא מבוצע	בקרת תאורה עם דימר
	20,000	עלות דו"ח 5282		12,000- 15,000	עלות דו"ח 1045	יועץ תרמי
5 (דירוג אנרגטי C)	643,700		0 (דירוג אנרגטי E)	12,000- 15,000 ש"ח		סה"כ

טבלה 4.1 – עלויות רכיבים ומערכות לשיפור הדירוג האנרגטי של הבניין הירוק

⁴² הערכת עלויות לרכיבי אלומיניום (קופסת צל ורכיב הצללה אופקי) התקבלו מאופיר נבו- מנהל שיווק בחברת אקסטל בע"מ, חברה לפיתוח, ייצור ושיווק מערכות אלומיניום לבניין

1.2.1 ביצועים אנרגטיים של תאורה ^{43 44}

תיאור כללי של מערכת התאורה:

מערכת התאורה בשני הבניינים תהיה מורכבת מנורות פלורסנט T5 מסוג פאראבולי 4/14, ⁴⁵ ועוצמת ההארה הינה 560 לוקס בממוצע.

בבניין הייחוס יושמו 210 גופי תאורה (ג"ת) בקומה טיפוסית בעלי נצילות אורית של כ- 59%, ועומס התאורה הינו כ- 12.8 וואט/מ"ר. מחיר ג"ת הינו כ- 200 ₪.

בבניין הירוק יושמו 156 ג"ת בקומה טיפוסית, בעלי נצילות אורית של 75%, ועומס התאורה הינו כ- 9.8 וואט/מ"ר. מחיר ג"ת הינו כ- 240 ₪. לכל גוף תאורה יש צורך במשנק אלקטרוני לעמעום התאורה בעלות של 15 ₪ לג"ת. ⁴⁶ בנוסף, בכל קומה יש לשלב 2 בקרים קומתיים מסוג DALI אשר עלותם כ- 1,800 ₪ לבקר, ויחידת בקרה מרכזית לכל הבניין.

א. ביצועים אנרגטיים ב-75% משטחי העבודה לפחות:

- ביצועים אנרגטיים של נורות: יותר מ 60 לומן – זהה בשני הבניינים (1 נק').
- ביצועים אנרגטיים של מערכות התאורה: עומס תאורה מרבי למעט תאורה שולחנית – בבניין הייחוס העומס קטן מ 14 וואט/מ"ר (0.5 נק'). בבניין הירוק העומס קטן מ 11 וואט/מ"ר (1.5 נק'). הפחתת עומס התאורה בבניין הירוק אינה כרוכה בעלויות נוספות פרט לתכנון מושכל ובחירה נבונה של רכיבי התאורה, ולכן כלולה בעלויות ג"ת ויועץ תאורה.

ב. נצילות אורית של גופי התאורה:

בבניין הייחוס הנצילות האורית של ג"ת הינה כ- 59% (0 נק').

⁴³ במקרים רבים, היזם אשר בונה את הבניין משאיר את ההחלטה לגבי מערכת התאורה לשוכר. אולם לצרכי המחקר אנו מניחים כי היזם בונה את הבניין לשימוש הוא ולכן מחליט גם לגבי מערכת התאורה.

⁴⁴ אפיון מערכות התאורה נקבע לאור ראיונות אישיים עם ד"ר רבקה ויטל - מרצה בכירה במכללת שנקר במחלקה לעיצוב פנים - מבנה וסביבה, ויועצת תאורה; ועם איסי קונובויץ - אי. סי. פי עיצוב תאורה אדריכלית. הערכות המחיר נקבעו לאור התייעצויות עם איסי קונובויץ ואמתי סלבסט - מנכ"ל משותף גלובל קוואלטי בע"מ, מערכות בית חכם ואודיו וידאו.

⁴⁵ במערכות תאורה המבוססות על נורות LED קיימים חידושים שאינם קיימים בנורות פלורסנט, והן חסכוניות יותר. עם זאת, כיוון שעלותן הראשונית גבוהה יותר וכיוון שמדובר בבניין משרדים ירוק בדרגת הסמכה בסיסית, ההנחה היא שבבניין תותקן מערכת תאורה המבוססת על פלורסנט T5.

⁴⁶ בפרויקט בו כמות הגופים הינה מועטה יחסית (300 - 400 גופי תאורה), עלות התוספת לכל גוף תאורה בשל משנק אלקטרוני תהיה כ- 150 - 160 ₪ לג"ת, כי לרוב יש לשנות את ג"ת הנמצאים במלאים. במקרה של פרויקט גדול ובו אלפי ג"ת, ובמידה ונעשה תכנון מושכל והערכות מוקדמת של הזמנת ג"ת כ- 8 - 10 שבועות לפני מועד ההתקנה, תוספת העלות בגין משנקים אלקטרוניים יורדת ומגיעה לכ- 15 ₪ לג"ת (ולעיתים אף ללא עלות נוספת כלל), וזאת כיוון שמזמינים את ג"ת עם משנקים אלקטרוניים כבר מהמפעל.

בבניין הירוק הנצילות האורית של ג"ת הינה כ- 75% ביותר מ- 90% מהשטחים המשותפים והחדרים טכניים (1.5 נק') וביותר מ- 90% משטחי העבודה (1.5 נק'). הגדלת הנצילות האורית של ג"ת בבניין הירוק אינה כרוכה בעלויות נוספות פרט לתכנון מושכל ובחירה נבונה של רכיבי התאורה, ולכן כלולה בעלויות ג"ת ויועץ תאורה.

ג. אמצעי בקרה המפחיתים את צריכת האנרגיה בתאורה חשמלית:

- חיישני נוכחות למצב הדלקה/כיבוי – בבניין הייחוס יושמו 26 חיישני נוכחות למערכת התאורה ומיזוג אוויר בכל קומה טיפוסית, והם מכסים יותר מ- 75% משטחי העבודה (0.5 נק').⁴⁷ לכל חיישן יש בקר ועלותו 800 ₪ לחיישן. בבניין הירוק יושמו 26 חיישני נוכחות בכל קומה טיפוסית והם מכסים יותר מ- 75% משטחי העבודה (0.5 נק'). כיוון שחיישנים אלו מחוברים לבקר קומתי, אין להם בקר עצמאי ולכן העלות הינה 350 ₪ לחיישן.
- ניהול תאורה מרכזי – בבניין הייחוס לא מיושמת מערכת מרכזית לניהול תאורה. קיימת אפשרות לכיבוי ולהדלקה לפי אזורים בקומה ובחדרים ספציפיים בלבד. בבניין הירוק יושמה מערכת מרכזית לניהול תאורה עם כיבוי והדלקה אוטומטיים ויכולת לווסת (לעמעם) את התאורה לרמה הנדרשת בעזרת חיישני תאורה, בקרים ומשנקי עמעום (0.5 נק'). עלות יחידת בקרה מרכזית הינה כ- 25,000 ₪.
- חיישני תאורה – בבניין הייחוס לא יושמו חיישני תאורה (0 נק'). בבניין הירוק יושמו 18 חיישני תאורה (עמעמים אוטומטיים) בכל קומה טיפוסית (0.5 נק') בעלות של 350 ₪ לחיישן. בנוסף הותקנו בכל קומה טיפוסית 2 בקרי DALI קומתיים בעלות של 1800 ₪ לבקר.

ד. אמצעי בקרה לתאורת חוץ:

בבניין הייחוס גופי תאורת החוץ מבוקרים ע"י שעון אוטומטי (שעון אסטרונומי) ללא חיישני נוכחות או חיישן אור (0 נק').

בבניין הירוק גופי התאורה מבוקרים ע"י שעון אוטומטי וחיישני נוכחות (0.5 נק').

⁴⁷ בשני הבניינים: כל חיישן נוכחות מפעיל גם את מע' התאורה וגם את מע' מיזוג האוויר. ראו גם סעיף 5.7 שליטה ברמת המשתמש – טמ"פ. היות ובתקן הניקוד ניתן על התקנת חיישני נוכחות ב 75% משטחי העבודה בלבד, מדובר כאן בהערכת יתר של מספר החיישנים בקומה. חיישני הנוכחות יושמו גם בחלק מהשטחים המשותפים והחדרים הטכניים אך לא ברמה הנדרשת (שהינה מעל 90%) ולכן לא מתקבל ניקוד נוסף

בניין ירוק			בניין הייחוס			הרכיב
ניקוד	סה"כ עלות	אופן חישוב עלות	ניקוד	סה"כ עלות	אופן חישוב עלות	הירוק
1		זהה בשני הבניינים	1	זהה בשני הבניינים	זהה בשני הבניינים	נורות יעילות (יותר מ-60 לומן לואט)
1.5	$156 \times (240 + 15) \times 18 = 716,040$	פחות מ 11 וואט למ"ר. בכל קומה טיפוסית יש 156 ג"ת בעלות 240 ש"ח, ועוד 15 ש"ח למשנק לכל ג"ת	0.5	$210 \times 200 \times 18 = 756,000$	פחות מ 14 וואט למ"ר. בכל קומה טיפוסית יש 210 ג"ת בעלות 200 ש"ח	ג"ת: עומס תאורה מרבי פחות מ-11 או 14 וואט/מ"ר
3	-	כלול בעלות ג"ת ויועץ תאורה	0	-	לא מבוצע	נצילות אורית של גופי תאורה
0.5	$26 \times 350 \times 18 = 163,800$	26 חיישנים בכל קומה טיפוסית בעלות של 350 ש"ח החיישן	0.5	$26 \times 800 \times 18 = 374,400$	26 חיישנים בכל קומה טיפוסית בעלות של 800 ש"ח החיישן	חיישני נוכחות
0.5	25,000	25,000 היחידה	0	0	לא מבוצע	יחידת בקרה מרכזית
0.5	$18 \times 350 \times 18 = 113,400$	18 חיישנים בקומה טיפוסית בעלות של 350 ש"ח החיישן	0	0	לא מבוצע	חיישני תאורה
-	$1800 \times 2 \times 18 = 64,800$	1800 ש"ח הבקר, 2 בקומה	0	0	לא מבוצע	בקרים קומתיים
0.5	-	זהה בשני הבניינים	0	-	זהה בשני הבניינים	שעון אוטומטי בתאורת חוץ
	$800 \times 4 = 3,200$	800 ש"ח החיישן, 4 חיישנים	0	0	לא מבוצע	חיישן נוכחות בתאורת חוץ
-	50,000 - 40,000	- 40,000 50,000	-	0	לא מבוצע	יועץ תאורה
7.5	1,126,240-1,136,240		2	1,130,400		סה"כ

טבלה 4.2 – עלויות רכיבי תאורה בבניין הייחוס ובבניין הירוק

1.2.4.1 מערכות מיזוג אוויר מרכזיות⁴⁸

עפ"י גיליון תיקון מס' 1 לת"י 5281 חלק 3, במידה ומערכת מיזוג האוויר מסופקת יחד עם הבניין, בכדי לקבל ניקוד עבור מע' מיזוג אוויר בסעיף 1.2.4, על כל החלונות הניתנים לפתיחה לכלול חיישן המפסיק את פעולת מיזוג האוויר כאשר החלונות פתוחים. הערכת עלות ליישום חיישן שכזה הינה 500 - 700 ₪ לחיישן. בבניין הירוק יש כ- 9 חלונות נפתחים בחזית, כלומר 36 בקומה, ולכן עלות החיישנים לבניין כולו הינה כ- 324,000 – 453,600 ₪. לאור העלות הגבוהה ביחס לניקוד על מערכת זו (0.75 נק'), והיעד לעמוד בכוכב אחד בלבד, הוחלט לא ליישם מערכת זו בבניין הירוק.

תנאי סף – שני הבניינים עומדים בדרישות ת"י 5280 (אנרגיה בבניינים מערכות אקלום) חלק 3.

בשני הבניינים - מיושמת מערכת מיזוג אוויר מרכזית, בעלת נצילות אנרגיה מדרגה B עם בקרת משתמשים עצמאית. המערכת אינה מהווה שיפור ביחס לת"י 5280 חלק 3 (0 נק'). מקדם היעילות של המערכת (COP) הינו 2.8.

הערה: במידה והיזם בבניין הירוק רוצה לקבל ניקוד בסעיף זה, עליו כאמור ליישם מע' חיישנים בחלונות בעלות של כ- 324,000 – 453,000 ₪ ואז יקבל בגינה 0.75 נק'. בנוסף, ניתן למשל ליישם מערכת מיזוג אוויר בעלת נצילות אנרגטית מדרגה A עם שילוב וסת מהירות VSD. מקדם היעילות של מערכת שכזו (COP) הינו לפחות 3.2. ע"י כך ניתן להגיע לשיפור של כ- 15% - 20% מדרישות ת"י 5280 חלק 3 (0.5 - 1 נק'). היות ומערכת מיזוג אוויר משמשת גם לחימום, הבניין יהיה זכאי בנוסף גם ל 0.5 - 1 נק' בגין סעיף 1.2.4.4. העלות הנוספת של מערכת שכזו ביחס לבניין הירוק מוערכת בכ- 40 - 60 שח למ"ר, כלומר 610,000 – 912,000 ₪ לכל הבניין. ההערכה היא שההשקעה מחזירה את עצמה בתוך שנים בודדות. לסיכום, במידה והיזם יישם מערכת חיישנים לחלונות ומערכת מיזוג אוויר כנ"ל, הוא צפוי לקבל בגין כך 1.75 - 2.75 נק' בעלות של כ- 934,000 – 1,365,000 ₪.

1.2.5 אמצעים משניים למדידה ובקרה של אנרגיה

כיום מקובל בשוק ליישם אמצעים משניים למדידה ובקרה של אנרגיה בכל המערכות שלהן צריכת אנרגיה משמעותית. לכן, בשני הבניינים יושמו אמצעי מדידת אנרגיה משניים בשתי מערכות: מיזוג אוויר ותאורה, (0.75 נק') ולכן אין השפעה על הפרש העלויות.⁴⁹

1.2.6 מערכת ניהול אנרגיה בבניין (BEMS- Building Energy Management System)

מערכות לניהול אנרגיה מיושמות גם בבנייני משרדים קונבנציונליים בקנה מידה בינוני-גדול. לכן בשני הבניינים יושמה מערכת שכזו (3 נק') ואין השפעה על הפרש העלויות. עלות מערכת BEMS מוערכת בכ- 20,000 ₪.

⁴⁸ ראיונות אישיים עם המהנדס רפי אהרוני - אסא אהרוני מהנדסים יועצים בע"מ, ליווי בנייה ירוקה ותכנון מערכות מיזוג אוויר
⁴⁹ התקן נותן ניקוד לפי מספר המערכות עבורן מיושמים אמצעים משניים למדידת אנרגיה. משיחות עם אנשי מקצוע עלה שלא נהוג ליישם אמצעי מדידה משניים למערכות מתח נמוך מאוד, וכי מערכות מים חמים אינן נפוצות בבנייני משרדים. לכן, לא סביר שיזם יישם אמצעי מדידה משניים ל-4 מערכות ומעלה

1.2.7.1 מעליות

מערכות לוויסות מהירות במעליות מיושמות גם בבנייני משרדים קונבנציונליים בקנה מידה בינוני-גדול. לכן בשני הבניינים יושמה מערכת שכזו (0.75 נק') ואין השפעה על הפרש העלויות.

1.2.8 פתרונות למערכות מידע (IT) בעלות נצילות אנרגיה גבוהה

פתרונות למערכות מידע (IT) המפורטים בסעיף מיושמים גם בבנייני משרדים קונבנציונליים בקנה מידה בינוני-גדול. לכן בשני הבניינים יושמו דרישות הסעיף (0.75 נק') ואין השפעה על הפרש העלויות.

2. קרקע

2.1 בחירת האתר

מטרת הסעיף היא לעודד שימוש בקרקעות מופרות שכבר פותחו בעבר. ההנחה היא כי המגרש נמצא ברקמה אורבנית באתר מופר אשר הוכשר בעבר לבנייה, ולכן שני הבניינים עומדים בדרישות הסעיף (2.5 נק') ואין השפעה על הפרש העלויות.

2.3 צפיפות הבנייה והפיתוח

ברובם המכריע של המקרים, מבני משרדים רבי קומות מנצלים את מלוא זכויות הבנייה ונבנים עפ"י דרישות הצפיפות המקסימליות שבתוכניות המתאר. לכן שני הבניינים עומדים בדרישות הסעיף (3.5 נק') ואין השפעה על הפרש העלויות.

2.4 תופעת אי החום העירוני

א. בבנין

הפחתת ספיגת חום בחזית שרובה עשויה מזכוכית הינה מורכבת, ולכן בשני הבניינים לא מיושמות אסטרטגיות להפחתת ספיגת חום והם אינם עומדים בדרישות סעיף זה (0 נק').

ב. בפיתוח⁵⁰

רכיבי הפיתוח בשני הבניינים:⁵¹

הרכיב	בניין ייחוס	בניין ירוק
שטח מרוצף (לבית קפה, רחבת כניסה וגישה לכיבוי אש)	880 מ"ר	590 מ"ר
אלמנט מים לנוי בחזית הבניין	יש	יש
שטח גינון בצד האחורי של הבניין	290 מ"ר עם גינון סטנדרטי ⁵²	580 מ"ר עם גינון חסכני במים ⁵³
עצים	8 עצים צעירים	16 עצים בוגרים

כיוון שהחניון מכסה כ- 95% משטח המגרש, מצע הגינות בשני הבניינים הינו מצע מנותק המורכב מתערובת שכבות של טוף גרוס ופרלייט ביחס 1:1. בקרבת כל עץ מיושם מצע בעומק של 80 ס"מ ובשטח מקסימלי של 50 מ"ר וכן

⁵⁰ תכנון הפיתוח בוצע ע"י אדריכלית הנוף טלי וקסלר. ראו פרק 3 ואיור 3.6 להרחבה
⁵¹ היות ומדובר בתכנון ראשוני בלבד, המספרים המובאים לאורך הסעיף, והמתארים את: שטחי הפיתוח השונים, כמויות, מידות, אחוזים וכד' הינם הערכות בלבד

⁵² לפי המפורט ב"גינת הייחוס" בנספח ג' לת"י 5281: דרורי דפנה ושביב עדנה, נספח ג' לת"י 5281, מכון התקנים הישראלי, ע"מ 57 - 58

⁵³ לפי המפורט ב"גינה משופרת" בנספח ג' לת"י 5281 כנ"ל

אמצעי עגינה מלאכותיים כדי לאפשר עגינה ושגשוג לעץ. בשטח הגינון ללא עצים מיושם מצע מנותק כנ"ל אך בעומק של 30 ס"מ בלבד. בנוסף מיושם דישון מינרלי מלאכותי במערכת ההשקיה.

יישום דרישות הסעיף:

בניין הייחוס – בפרקטיקה המקובלת לא קיימים שיקולים של הפחתת ספיגת החום בתכנון הפיתוח. אולם, ניתן בקלות וללא תוספת עלות ליישם ריצוף עם גוון מתון ולעמוד בדרישות הסעיף, ולכן בניין הייחוס יקבל בסעיף זה 0-1 נק'.

בניין ירוק - יישמו האסטרטגיות הבאות להפחתת ספיגת חום בשטחי הפיתוח:

- בחירת ריצוף בעל גוון מתון - הריצוף מכסה 44% משטח הפיתוח. בחירת ריצוף עם גוון מתון אינה כרוכה בעלויות נוספות.
- נטיעת עצים בוגרים - המצלים על 45% משטח הפיתוח, עפ"י חישוב של 8 מ' קוטר היטל הצללה של כל עץ בוגר, וחפיפה של 25% בהיטלי הצל של העצים.
- יישום שטחי צמחייה – 43% משטח הפיתוח.
- אלמנט מים בחזית הבניין.

בסה"כ יותר מ 80% משטח הפיתוח מטופל באסטרטגיות להפחתת ספיגת חום (1 נק').

פירוט חישובי עלויות הפיתוח בשני הבניינים:

• הפרש עלויות השטח המרוצף

עלות מ"ר מרוצף	עלות יציקת בטון	מקדם התאמה α^{54}	סה"כ עלות למ"ר מרוצף	סה"כ תוספת עלות השטח המרוצף בבניין הייחוס
450 - 350 ש"ח ⁵⁵	117 ש"ח ⁵⁶	$0.95808 = \alpha$	$(350 + 117) * \alpha = 447$ עד	$290 * 447 = 129,630$ עד
			$(450 + 117) * \alpha = 543$	$290 * 543 = 157,470$

כלומר, כיוון שבבניין הייחוס שטח הריצוף גדול ב- 290 מ"ר מאשר בבניין הירוק, הפרש העלויות בגין הפרש השטח המרוצף הינו 129,630 ש"ח עד 157,470 ש"ח יותר ביחס לבניין הירוק.

⁵⁴ המחירים המצוינים הינם מחירי יוני 2013 עפ"י מחירון דקל ויש לבצע תיאום למחירי יוני 2014 עפ"י מדד מחירי תשומה בבנייה למסחר ולמשרדים אשר ירד בתקופה זו ב- 0.2% (ראו: למ"ס 2014, [אתר למ"ס – חישובי הצמדה](#)). בנוסף יש להפחית 4% ממחירי המחירון היות ומדובר בפרויקט של מעל 6 מיליון ש"ח (ראו: מחירון דקל יולי 2013, מאגר מחירי בנייה ותשתיות, תוספות והפחתות בגין היקף העבודה ע"מ 605). בסה"כ מקדם ההתאמה בו הוכפלו המחירים במחירון דקל לצרכי המחקר הינו: $\alpha = 0.95808 = 0.96 * 0.998 * 1$

⁵⁵ כולל עלות אבן, מילוי ועבודה. מחירון דקל יוני 2013, מאגר מחירי בנייה ותשתיות, סעיף 14.080 ריצוף משטחים באבן
⁵⁶ על יציקת הבטון בעובי 10 ס"מ מיושם הריצוף. מחירון דקל יוני 2013, מאגר מחירי בנייה ותשתיות, סעיף 02.050 מרצפים ורצפות

• הפרש עלויות השטח המגוון

באופן דומה, עלות מ"ר גינות מוערכת בכ – 250 - 350 ₪ (כולל שתילים, עצים, תשתית מים, ניקוז וכ"ו, לא כולל מצע).⁵⁷ בבניין הירוק שטח הגינות גדול ב- 290 מ"ר ולכן הפרש העלויות הינו 72,500 עד 101,500 ₪ יותר בהשוואה לבניין הייחוס. ההפרש בגין מספר העצים וגודלם הינו זניח ונבלע למעשה בהערכת העלות למ"ר של גינות.

• הפרש עלויות המצעים

כאמור, מצע הגינות בשני הבניינים הינו מצע מנותק (מצע מעל תקרת חניון) המורכב מתערובת שכבות של טוף גרוס (מסוג 0-8) ופרלייט ביחס 1:1. להלן חישוב עלות מ"ר מצע (עלויות בש"ח):

עלות קוב טוף 0-8	עלות קוב פרלייט	עלות קוב תערובת (טוף ופרלייט ביחס 1:1)	רווח קבלן ראשי	מקדם התאמה	עלות מ"ר תערובת בעומק 80 ס"מ	עלות מ"ר תערובת בעומק 30 ס"מ
380 ⁵⁸	580 ⁵⁹	$0.5 \cdot 380 + 0.5 \cdot 580 = 480$	8% ⁶⁰	α	$480 \cdot 1.08 \cdot 0.8 \cdot \alpha = 397$	$480 \cdot 1.08 \cdot 0.3 \cdot \alpha = 149$

כלומר, עלות מ"ר מצע בעומק 80 ס"מ, המתאים לשטח גינות בו יש עצים הינה 397 ₪, ועלות מ"ר מצע בעומק 30 ס"מ, המתאים לשטח גינות ללא עצים, הינה 149 ₪.

להלן חישוב סה"כ העלות של המצעים בעומק 80 ס"מ בבניין הירוק:

שטח מצע בעומק 80 ס"מ הדרוש לכל עץ	חפיפה בשטח בין העצים	מספר העצים בבניין הירוק	שטח דרוש עם מצע בעומק 80 ס"מ	עלות למצע בעומק 80 ס"מ בבניין הירוק
מקסימום 50 מ"ר	25%	16	$50 \cdot 0.75 \cdot 16 = 600$	$600 \cdot 397 = 238,200$

להלן חישוב סה"כ העלות של המצעים בעומק 30 ס"מ בבניין הירוק:

סך שטח הגינות	מס' עצים המיושמים בשטח הגינות	שטח הגינות עם מצע בעומק 80 ס"מ לעצים	שטח הגינות עם מצע בעומק 30 ס"מ (ללא עצים)	עלות למצע בעומק 30 ס"מ בבניין הירוק
580 מ"ר	7 ⁶¹	$7 \cdot 50 \cdot 0.75 = 260$	$580 - 260 = 320$	$320 \cdot 149 = 47,680$

⁵⁷ לאור התייעצות עם אגרונום אלירז סיני - יועץ להקמת ותחזוקת גינות, ואפיון הגינות ומחירי שתילים
⁵⁸ מחירון דקל יולי 2013, מאגר מחירי בנייה ותשתיות, סעיף 41.012.0040. במחירון עלות 1.5 קוב הינה 570 ₪ ולכן עלות קוב הינה $570 \cdot \frac{2}{3} = 380$ ₪ לקוב
⁵⁹ פרלייט גודל 2, מחירון דקל יולי 2013, מאגר מחירי בנייה ותשתיות, סעיף 41.012.0310
⁶⁰ מחירון דקל יולי 2013, מאגר מחירי בנייה ותשתיות, הנחיות כלליות לקביעת אחוזי קבלן ראשי, ע"מ 603
⁶¹ 9 עצים נוספים מיושמים בשטח המרוצף

מכאן שסך עלות המצעים בבניין הירוק הינה 285,880 ₪.

תחת אותן הנחות, כיוון שבבניין הייחוס יש מחצית מכמות העצים ומחצית משטח הגינות, עלות המצעים בבניין הייחוס הינה מחצית מהעלות בבניין הירוק כלומר 142,940 ₪.

• הפרש עלויות קונסטרוקציית החניון בגין הבדלי הפיתוח בין הבניינים

תקרת החניון נושאת את משקל הפיתוח שמעליה. ככל שמשקל הפיתוח רב יותר, על התקרה להיות עבה וחזקה יותר. הבדל עובי תקרת החניון בין תקרה מתחת למצע של 30 ס"מ לבין תקרה מתחת לשטח מרוצף הינו זניח, ולכן ההבדל בתקרת החניון בין הבניינים הוא רק בגין השטחים עם מצע בעומק 80 ס"מ. במילים אחרות, היות ובבניין הירוק יש שטח גדול יותר עם מצע בעומק 80 ס"מ, על תקרת החניון בבניין זה להיות חזקה יותר. בחישוב גס שנערך,⁶² נמצא כי תקרת החניון מתחת למצע בעומק 80 ס"מ, עבה יותר ב- 10 ס"מ מאשר תקרת חניון מתחת למצע בעומק 30 ס"מ (או תקרת חניון מתחת לשטח מרוצף), כיוון שעליה לשאת עוד 50 ס"מ של מצע.⁶³

להלן חישוב הפרש עלות הקונסטרוקציה של החניון בין הבניינים:

הפרש עלות בין תקרת בטון ב- 30 בעובי 30 ס"מ לבין עובי 40 ס"מ	מקדם התאמה	הפרש עלות לאחר התאמה	הפרש השטח בין הבניינים בו מיושם מצע בעומק 80 ס"מ	הפרש עלות יישום תקרת החניון בין הבניינים	תוספת ברזל לזיון הבטון	עלות הברזל לאחר התאמה
77 ₪ למ"ר ⁶⁴	α	$77 \cdot \alpha = 74$	300 מ"ר ⁶⁵	$74 \cdot 300 = 22,200$	1.6 טון	7,800 ⁶⁶

לסיכום, סה"כ ההפרש בעלות הקונסטרוקציה לחניון בגין שטח הגינות עם מצע בעומק 80 ס"מ בין הבניין הירוק לייחוס מוערך בהערכה גסה בכ- 30,000 ₪ (עפ"י החישוב: $30,000 = 7,800 + 22,200$ ₪).

• הפרש עלות תחזוקת הגינה

עלות תחזוקת הגינה מושפעת מאוד מהיישום המפורט של הגינה ולכן מדובר כאן בהערכה גסה בלבד. בבניין הירוק מיושמת גינה הגדולה ב- 290 מ"ר מזו אשר מיושמת בבניין הייחוס. הפרש עלות להעסקת גן לתחזוקה שוטפת

⁶² ראיון אישי עם סהר כהן – מהנדס קונסטרוקציה

⁶³ אחת מהנחות הבסיס בחישוב הינה שמשקל המצע הוא כמשקל אדמת מילוי כלומר 2 טון למ"ר. מצע של פרליט וטוף קלים יותר, ולכן זוהי הנחה מחמירה הגורמת להערכת עלויות גדולה. עם זאת, הערכה מחמירה זו נפוצה בקרב מהנדסי קונסטרוקציה כמקדם ביטחון

⁶⁴ מחירון דקל יולי 2013, מאגר מחירי בנייה ותשתיות, הפרש סעיפים 02.081.0060 ו- 02.081.0070

⁶⁵ בבניין הירוק מיושמים 8 עצים יותר מאשר בבניין הייחוס. ולכן ההבדל בשטח הנדרש עם מצע בעומק 80 ס"מ הינו: $8 \cdot 50 \cdot 0.75 = 300$

⁶⁶ מחירון דקל יולי 2013, מאגר מחירי בנייה ותשתיות, סעיף 02.100.0030

מוערכת ב- 500 – 900 ₪ בחודש או 6,000 - 10,800 ₪ בשנה.⁶⁷ בהנחה של שער היוון של 3% ולתקופה של 30 שנה, הפרש העלויות לכל התקופה הינו 121,000 – 218,000 ₪.

• הערות נוספות:

א. שטח המצע אשר בו יש ליישם עומק המתאים לעצים בוגרים נקבע לעיתים בתב"ע, ויש רשויות מקומיות המחייבות ליישם שטח גדול המתאים למספר רב של עצים בוגרים. במקרה כזה, ייתכן שהפרש העלויות בין הבניין הירוק לבניין הייחוס בגין עלות המצעים והקונסטרוקציה, תפחת ואף תגיע לאפס במקרה בו הרשות המקומית דורשת מספר עצים רב כמספרם בבניין הירוק.

ב. ההנחה במחקר היא כי ניתן לשלב את עומק המצע לצורך יישום עצים בפיתוח, ללא הגדלת עומק החניון או הפסד של מקומות חנייה וזאת ע"י פתרונות תכנון חניון מקובלים המאפשרים שטחים בעלי עומק של 80 ס"מ, ללא העמקת החניון כגון: חניון "בורג", גובה תפעולי גבוה הקיים ממילא בקומה העליונה של החניון ועוד. במידה וכתוצאה משטחי פיתוח בהם עומק המצע הינו 80 ס"מ, יש להעמיק את החניון או שנגרמו הפסדים של מקומות חנייה, יש להוסיף עלויות אלו לחישובים בהתאם.

לסיכום, להלן טבלה המסכמת את הפרש עלויות הפיתוח בין שני הבניינים בהתאם להנחות שתוארו מעלה:

בניין ירוק			בניין הייחוס			הרכיב
ניקוד	סה"כ עלות	אופן חישוב עלות	ניקוד	סה"כ עלות	אופן חישוב עלות	הירוק
1	0	ללא תוספת עלות	1 - 0	0	לא מבוצע אך יכול להיות מבוצע ללא תוספת עלות	ריצוף בעל גוון מתון
	-	-		תוספת עלות של כ- 129,630 עד 157,470	290 מ"ר יותר מבבניין הירוק 543 - 447 ₪ למ"ר	שטח מרוצף
	תוספת עלות של כ- 72,500 עד 101,500	290 מ"ר יותר מבבניין הייחוס בעלות 250 - 350 ₪ למ"ר		0	-	שטח גיבון
	149*320+ 397*600 = 285,880	600 מ"ר עם עומק 80 ס"מ ו-320 מ"ר עם עומק 30 ס"מ		מחצית מהעלות בבניין הירוק כלומר 142,940	עלות מ"ר מצע בעומק 30 ס"מ 149 ₪ ובעומק 80 ס"מ 397 ₪	מצעים
	תוספת עלות של כ- 30,000	ראו פירוט למעלה				תוספת עובי 10 ס"מ לתקרת החניון
	121,000 עד 218,000	500-900 ₪ בחודש יותר מבבניין הייחוס, לתקופה של 30 שנה בשער היוון של 3%		0	-	תחזוקת גינה ע"י גן
1	509,380 עד 635,380		1 - 0	272,570 עד 300,410		סה"כ

טבלה 4.3 – עלויות הפיתוח בבניין הייחוס ובבניין הירוק

⁶⁷ לאור ראיונות אישיים עם אלירז סיני ונמרוד שמר – אדריכל נוף

2.5 מירוב השימוש בקרקע

הסעיף מתגמל על האחוז מהשטח הפתוח אשר בו מתקיימים שימושי חוץ התומכים בקיימות כגון: צמחייה, עצים בוגרים, טיפול בנגר עילי ופיתוח לטובת המשתמשים בבניין אשר יספק אזורי ישיבה ואזורים למפגשים חברתיים.

בבניין הייחוס סה"כ שטח הגינון הינו כ- 290 מ"ר, והשטח המוקצה לבית הקפה (אשר סביר שייחשב כשטח פיתוח לטובת המשתמשים) הינו כ- 325 מ"ר ובסה"כ 615 מ"ר שהם כ- 45% בלבד משטח הפיתוח. לכן בניין הייחוס אינו עומד בדרישות המינימליות של הסעיף אשר דורש ש- 50% משטח הפיתוח יוקצה לשימושים התומכים בקיימות. בנוסף הסעיף דורש יישום של עצים בוגרים בשטח הפיתוח, ואילו בבניין הייחוס קיימים כ- 8 עצים צעירים בלבד. יחד עם זאת, לו היזם היה מודע לדרישות הסעיף, ובעזרת השקעה כספית אפסית או זניחה, סביר שניתן היה לקבל לפחות 1 נק' בגין הקצאה של 50% משטח הפיתוח לטובת שימושים התומכים בקיימות, ולכן הניקוד בסעיף זה הינו 0 - 1 נק'.

בבניין הירוק יותר מ- 80% משטח הפיתוח מוקצה לשימושים תומכי קיימות (2 נק'), והפרש העלויות בכדי לעמוד בדרישות הסעיף כלולות בסעיף 2.4 הנ"ל.

2.7 אקולוגיית האתר⁶⁸

תנאי סף – ביצוע תסקיר השפעה על הסביבה באתר ובסביבה הקרובה – יבוצע בבניין הירוק בלבד (0 נק').

שיפור אקולוגיית האתר – יבוצע בבניין הירוק בלבד. בעזרת תכנון מושכל ניתן לשפר את אקולוגיית האתר עם תוספת עלות זניחה (0.5 נק'). ניתן למשל ליישם נטיעת מיני צמחים מקומיים התומכים במיני בע"ח מקומיים (ציפורים), לאמץ נהלי גננות הנמנעים ככל הניתן משימוש בחומרי הדברה, להתקין ארגזים לציפורים, עטלפים וחרקים, לפתח תכנית לניהול מגוון ביולוגי (בעיקר של צמחייה), להקצות מקומות מסתור והאכלה (בעיקר לציפורים), ליישם את מתקן המים כך שיהיה נגיש לציפורים ועוד.

הערכת עלות לביצוע התסקיר, המלצות לפתרונות ופתרונות עצמם מוערכת בכ- 6,000 – 12,000 ₪.

⁶⁸ ראיון אישי עם אורי ערד - רכז סקרי טבע נוף ומורשת במכון דש"א

3. מים

3.1 חיסכון בשימוש במים שפירים בבניין

יישום חסכמים, ברזים אלקטרוניים וברזים בעלי פתיחה וסגירה אוטומטית הינה דרישה של הל"ת (הוראות למתקני תברואה) ולכן מיושמים בבנייני משרדים קונבנציונליים בקנה מידה בינוני-גדול. לכן בשני הבניינים יושמו אמצעים אלו במעל 90% מהברזים והמקלחונים (2 נק') ואין השפעה על הפרש העלויות.

3.2 אמצעי מדידה משניים ואמצעי בקרה – מים

תנאי סף – מד מים נפרד ובקר השקיה עבור הגינון - מיושם גם בבנייה קונבנציונלית ולכן אין השפעה על הפרש העלויות בין הבניינים.

יישום מערכת ניטור/איתור דליפות על המונה הראשי, ברזי סולנואיד על מערכת המים עבור כל מקבץ שירותים, וכן חיישני נוכחות בכל בית שימוש, נפוץ גם בבנייני משרדים קונבנציונליים בקנה מידה בינוני-גדול. לכן בשני הבניינים יושמו אמצעים אלו (4 נק') ואין השפעה על הפרש העלויות.

3.3 חיסכון במים שפירים להשקיה בגינון

בבניין הייחוס מיושמת גינה הדומה לגינת הייחוס שבנספח ג' לתקן (0 נק').⁶⁹

בבניין הירוק מיושמת גינה הדומה לגינה משופרת אשר חוסכת יותר מ 50% ממי ההשקיה ביחס לגינת ייחוס. בנוסף מיושמת מערכת לאיסוף מי עיבוי המזגנים, כך שכל השקיית הגינה מתבצעת ממים אלו, ולמעשה נחסכים 100% ממי ההשקיה ביחס לגינת הייחוס (3 נק').

עלות הגינה המשופרת כלולה בסעיף 2.4 – אי החום העירוני.

עלות מערכת איסוף מי עיבוי מזגנים⁷⁰ – גינה משופרת צורכת כ- 245 קוב מים לדונם⁷¹ כלומר הגינה בבניין הירוק בגודל 580 מ"ר כולל העצים תצרוך כ- 160 קוב בשנה. כמות השקיה זו מתחלקת ברובה על פני חודשים אפריל – אוקטובר, כלומר 7 חודשים ובממוצע 23 קוב לחודש כלומר 0.75 קוב ליום. בהנחה שהמזגנים בכל קומה מספקים כ- 0.5 קוב מים ביום, על המערכת לאסוף את מי העיבוי מ- 2 קומות טיפוסיות. עלות המערכת היא כ- 30,000 ₪,

⁶⁹ דרורי דפנה ושביב עדנה, נספח ג' לת"י 5281, מכון התקנים הישראלי, ע"מ 57 - 58

⁷⁰ ראיון אישי עם ליאור אקנין מנכ"ל חברת אקוסיסטמס, חברה לתכנון הקמה ותחזוקה של מערכות למחזור מים

⁷¹ דרורי דפנה ושביב עדנה, נספח ג' לת"י 5281, מכון התקנים הישראלי, ע"מ 59

ובנוסף עלות תשתיות צנרת של כ- 200 מ' צנרת במחיר 60 ₪ למ' כולל עבודה = 12,000 ₪. סה"כ עלות המערכת הינה 42,000 ₪ והיא תספק את כל צרכי ההשקיה של הגינה.⁷²

3.4 ניהול מי נגר עילי וניקוז⁷³

הדרישות בנושא זה הן נגזרת של תמ"א 4/ב/34, דרישות הרשות המקומית אשר משתנות מרשות לרשות, וכן דרישות רשות המים.

בניין הייחוס – תמ"א 4/ב/34 אינה דורשת אמצעי חלחול אם לפחות 20% משטח המגרש מאפשר חלחול טבעי. כלומר אם שטח החניון הינו עד 80% משטח המגרש, התמ"א אינה דורשת אמצעי חלחול מיוחדים / נוספים. בבנייה קובבנציונלית היזם ממקסם את שטח החניון, ולכן בשני הבניינים נקבע שהחניון מהווה 95% משטח המגרש. לכן תמ"א 4/ב/34 דורשת מהיזם ליישם אמצעי חלחול והחדרה, שכושר ההחדרה שלהם שווה לפחות לכושר ההחדרה של קרקע בגודל 15% משטח המגרש (1.75 נק'). לשם כך ההערכה הינה שיש צורך בבור חלחול אחד לפחות ובייעוץ של הידרולוג.

הבניין הירוק – בכדי להגיע להיקף החדרה של מעל 50% (4 נק')⁷⁴ ההערכה הינה שיש צורך ב 2 - 4 בורות חלחול ובייעוץ של הידרולוג.

הערכת עלויות:

בור חלחול צריך להיות בקוטר של כ- 0.4 - 1 מ' ובאורך של כ- 15 - 20 מ'. עלותו מוערכת ב 15,000 - 20,000 ₪.

עלות ייעוץ של הידרולוג זהה בשני הבניינים ומוערכת בכ- 10,000 – 17,000 ₪

עלות הולכת המים מהמרזבים לבור/ות הינה זהה בשני הבניינים ומוערכת בכ- 20,000 - 25,000 ₪.

⁷² בבניין הירוק פוטנציאל איסוף מי עיבוי המזגנים גדול בהרבה מצריכת המים של הגינה. אך התקן במתכונתו הנוכחית, אינו מתגמל מערכת האוספת את מי העיבוי לשימושים נוספים פרט להשקיית גינה, כגון הדחת אסלות, וזאת למרות החיסכון המשמעותי ממערכת שכזו ביחס למערכת אשר מסתפקת בהשקיית גינה בלבד

⁷³ בהתייעצות עם ההידרולוג שמעון צוק - M.Sc. חברת "צוק - הידרולוגיה וסביבה", וההידרולוג ירון גלר - הנדסה וניהול משאבי מים בע"מ

⁷⁴ משיחות עם ההידרולוגים עלה שאפשר להגיע להחדרה של כ- 80% ממי הגשם ואף יותר מכך, אולם קשה עד בלתי אפשרי להגיע למדרגה העליונה בתקן כלומר להחדרה של 100% (6 נק')

בניין ירוק			בניין הייחוס			הרכיב הירוק
ניקוד	סה"כ עלות	אופן חישוב עלות	ניקוד	סה"כ עלות	אופן חישוב עלות	
4	30,000 - 80,000	2 - 4 בורות	1.75	15,000 - 20,000	עלות לבור: 20,000 - 15,000 מספר בורות - 1	בור חלחול בקוטר 0.4 - 1 מ' ובאורך 15 - 20 מ'
	זהה בשני הבניינים			זהה בשני הבניינים		עלות הידרולוג
	זהה בשני הבניינים			זהה בשני הבניינים		עלות הולכת המים מהמרזבים לבורות
4	30,000 עד 80,000		1.75	15,000 עד 20,000		סה"כ

4. חומרים

4.1 בחירת חומרים ומוצרים בעלי תו ירוק

בניין הייחוס - מכיוון שבד"כ לא ניתנת לנושא זה תשומת לב, על פי רוב לא נבחרים חומרים ומוצרים בעלי תו ירוק. אולם, היות ויש מגוון רחב של חומרים ומוצרים בעלי תו ירוק זמינים בשוק הבנייה,⁷⁵ והיות ומחירים אינו שונה ממחירים של מוצרים דומים ללא תו ירוק,⁷⁶ בעזרת מודעות גם בבניין הייחוס ניתן ליישם חומרים בעלי תו ירוק ללא תוספת עלות ולכן הניקוד המתקבל הינו 0 - 3 נק'.

הבניין הירוק – בקטגוריות חומרי שלד, גמר ופיתוח יושמו חומרים בעלי תו ירוק כגון: בלוקים, מלט, צבעים, לוחות גבס, בידוד תרמי (צמר סלעים / זכוכית / פוליסטירן מוקצף ועוד), חומרי איטום, טיח גבס, טיח תרמי, טיח רגיל, אריחים, דבק אריחים, זכוכית⁷⁷ וכד' (3 נק').

היות ומחיר חומרים ומוצרים בעלי תו ירוק אינו שונה ממחיר חומרים ומוצרים ללא תו ירוק, אין השפעה של יישום סעיף זה על הפרש העלויות.

4.2 חומרים ממוחזרים

גם בבנייה קונבנציונלית נעשה ממילא שימוש בחומרים ממוחזרים, למשל:

- ברזל בניין – אחוז החומרים הממוחזרים בברזל בניין מגיע לכמה עשרות אחוזים ואף עד ל- 100% אם מדובר בברזל תוצרת ישראל.⁷⁸
- אלומיניום – אחוז החומרים הממוחזרים באלומיניום מגיע לכ- 20% - 25%.⁷⁹
- מלט – אחוז החומרים הממוחזרים במלט מגיע לכ- 14.6%, כאשר אחוז אפר הפחם לבדו מגיע לכ- 8%.⁸⁰
- זכוכית – אחוז החומרים הממוחזרים בזכוכית מגיע לכ- 17%.⁸¹
- לוחות גבס – אחוז החומרים הממוחזרים בלוחות גבס מגיע לכ- 60% - 95%.⁸²
- מצעים - עלות המצעים ליזם מושפעת מאוד מעלות השינוע שלהם. לכן עלותם מושפעת מהמיקום הגיאוגרפי של אתר הבנייה ביחס למיקום אתרי מחזור פסולת בניין / מחצבות קרובים. היות ואתר הבנייה במחקר זה ממוקם בבני ברק, האתר הקרוב אליו ביותר הינו "פארק מיחזור הסירה" בהרצליה,⁸³ אשר מייצר אגרגטים

⁷⁵ המועצה הישראלית לבנייה ירוקה 2014, [הקטלוג-מאגר המוצרים לבנייה ירוקה](#), אתר המועצה הישראלית לבנייה ירוקה

⁷⁶ ראיונות אישיים עם מהנדס רפי אהרונ; לירון דן - מנהלת "הקטלוג"- מאגר המוצרים לבנייה ירוקה, המועצה הישראלית

לבנייה ירוקה; וגל סורקין שפניר - אדריכל, מנהל פרויקט בנייה ירוקה בקבוצת ברן

⁷⁷ קיימות זכוכיות בעלות תעודת Cradle to Cradle: למשל זכוכיות מסוג Stopray Smart של חברת AGC הן בעלות תעודת

C2C silver (מתוך קטלוג של חברת AGC)

⁷⁸ ראיונות אישיים עם גל סורקין שפניר וד"ר מרק קיזנר - ד"ר להנדסה, מנהל טכני של מפעל חד עירגול

⁷⁹ ראיונות אישיים עם גל סורקין שפניר ואופיר נבו

⁸⁰ נשר מפעלי מלט ישראלים בע"מ 2012, [דו"ח אחריות תאגידית 2012](#), ע"מ 41

⁸¹ ראיון אישי עם עידו מגן – יועץ זכוכית ומנהל שיווק ב- ASHKENAZY GLASS

⁸² דוא"ל ממיקל זוהר – אדריכלית אורבנד, מומחית בתחום הגבס ובנייה מתקדמת, מלווה מוסמכת לבנייה ירוקה

⁸³ המשרד להגנת הסביבה 2014, [רשימת אתרי הטמנה ומפעלי מחזור לסילוק וטיפול בפסולת בנייה](#)

ממוחזרים, ולכן סביר שבמקרה זה גם יזם קונבנציונלי ירכוש מצעים ממוחזרים. בנוסף, עלות מצעים ממוחזרים אינה יקרה יותר ואף זולה באופן משמעותי מעלות מצעים מחומרים ראשוניים:⁸⁵

- מצע סוג ג' – ניתן להשתמש בקלות וללא תוספת עלות במצעים מסוג ג' ממוחזרים.

- מצע סוג ב' – מצעים ממוחזרים מסוג ב' הינם זולים בכ- 15% - 30% ממצעים ראשוניים, ובנוסף המצעים הממוחזרים זמינים יותר. לכן ההנחה היא כי גם יזמים בבנייה קונבנציונלית יעשו שימוש במצעים ממוחזרים.

- מצע להנחת רצפות – סומסום ממוחזר הינו זול בכ- 10% מסומסום ממחצבה, וחול ממוחזר הינו זול בכ- 30% ויותר מחול ממחצבה. לכן ההנחה היא כי גם יזמים בבנייה קונבנציונלית יעשו שימוש במצעים ממוחזרים להנחת רצפות.

לכן בשני הבניינים ניתן לקבל 2 נק' ללא תוספת עלות בגין שימוש בחומר ממוחזר בקטגוריות שלד, גמר ופיתוח.

4.3 חומרים ומוצרים מקומיים

שימוש בחומרים ומוצרים מקומיים נעשה ממילא גם בבנייה קונבנציונלית, למשל: בלוקים, מלט, צבעים, לוחות גבס, חומרי בידוד, טיח גבס, טיח תרמי, טיח רגיל, דבק אריחים, בטון, אלומיניום, נגרות, חומרי איטום, אבן, ועוד. לכן בשני הבניינים ניתן לקבל לפחות 1 נק' ללא תוספת עלות בגין שימוש בחומרים ומוצרים מקומיים.⁸⁶

4.4 חומרים ממקור אחראי

חברות יצרניות רבות במשק הבנייה הישראלי והגלובלי הינן "מקור אחראי" (עפ"י דרישות הסעיף), ולכן ייתכן כי גם בבנייה קונבנציונלית נעשה שימוש בחומרים ממקור אחראי, ו/או ניתן להשתמש בחומרים ממקור אחראי ללא תוספת עלות / בעלות זניחה.⁸⁷ יחד עם זאת, למרות שיש בשוק המקומי והגלובלי חברות שהינן מקור אחראי, הוחלט להניח הנחה מחמירה ולא לקבל ניקוד בסעיף זה, מחשש כי בפועל לא יעמוד היזם בדרישות הסעיף.

⁸⁴ המשרד להגנת הסביבה 2013, [רשימת אתרי הטמנת פסולת מעורבת](#)

⁸⁵ ראיון אישי עם חן נחמיה - מנהל מכירות, חברת בני וצביקה בע"מ

⁸⁶ בסבירות גבוהה ניתן להגיע לפחות ל- 15 חומרים / מוצרים מקומיים בשתי קטגוריות, ולקבל 1.5 נק'. לכן ההערכה שנעשה

שימוש במקסימום 14 חומרים מקומיים הינה הערכה מחמירה

⁸⁷ ראיונות אישיים עם המהנדס רפי אהרוני וגל סורקין שפניר

5. בריאות ורווחה

5.1 תכנון ביו-אקלימי – רוח

תנאי סף – ניתוח משטר רוחות מבוצע בתכנון מבנים רבי קומות כחלק מאישור הפרויקט בוועדות התכנון. לכן הניתוח מבוצע בשני הבניינים (0 נק') ואין השפעה על הפרש העלויות.

5.3 אספקת אוויר צח ממקור נקי

תנאי סף – הדרישות השונות לגבי מיקום פתחי יניקה ויציאה של מע' אוורור מאולצות מתקיימות גם בבנייה קובבנציונלית (0 נק') ולכן אין השפעה על הפרש העלויות.

5.4 איכות האוויר בתוך הבניין⁸⁸

א. אוויר צח

בבנייני משרדים בסדר גודל בינוני-גדול מקובל ליישם מערכת אוויר צח המבצעת לפחות 2 החלפות אוויר בשעה. נוהג זה מביא לתוצאות שהן לפחות 20% יותר מהנדרש בתקן ASHRAE 62.1. מכאן שגם בניין הייחוס עומד בתנאי הסף של סעיף זה, ואף מעבר לכך: שיעורי האוורור והאוויר הצח יהיו בו גבוהים ביותר מ 20% מעל המינימום המוגדר בתקן ASHRAE 62.1 (0.5 נק'). לכן ליישום סעיף זה אין השפעה על הפרש העלויות בין בניין הייחוס לבניין הירוק.

ב. חיישני פד"ח (פחמן דו חמצני, CO₂)

אחוז הפד"ח באוויר בבניין משמש אומדן לאיכות האוויר ומורה למערכת מיזוג האוויר מתי יש להכניס אוויר צח מבחוץ ובאיזו כמות. הכנסת אוויר צח צורכת אנרגיה רבה שכן נכנס אוויר חם (30-35 מעלות בקיץ) ולח, ויש להשקיע אנרגיה רבה על מנת לקררו לטמפרטורה והלחות הנדרשות בבניין. צריכת האנרגיה בשל הכנסת אוויר צח מהווה כ- 40% מסך האנרגיה הנצרכת במערכת מיזוג האוויר. בעזרת החיישנים מבוצעות החלפות אוויר רק כאשר יש בהן צורך, וכך נחסכות החלפות אוויר מיותרות ונחסכת אנרגיה רבה.⁸⁹

בניין הייחוס – לא יושמו חיישני פד"ח

הבניין הירוק – יושמו חיישני פד"ח לפי תקן ASHRAE 62.1 (0.5 נק'). יש צורך ב-2 חיישנים בקומה אשר עלותם מוערכת בכ- 2,000 ₪ לחישה, ובסה"כ 72,000 ₪ לבניין.

⁸⁸ ראיון אישי עם המהנדס רפי אהרוני

⁸⁹ מטעמים אלו חברת אלביט למשל דורשת התקנת חיישני פד"ח בבניינים שלה

בניין ירוק			בניין הייחוס			הרכיב הירוק
ניקוד	סה"כ עלות	אופן חישוב עלות	ניקוד	סה"כ עלות	אופן חישוב עלות	
0.5	0	זהה בשני הבניינים	0.5	0	זהה בשני הבניינים	אוויר צח
0.5	$2 \times 2000 \times 18 = 72,000$	2 חיישנים בקומה, 2000 ש"ח החיישן	0	0	לא מבוצע	חיישני פד"ח
1	72,000		0.5	0	לא מבוצע	סה"כ

5.5 שליטה ברמת המשתמש – תאורה

תנאי סף – מתג מרכזי בכניסה לכל יחידת משרדים לכיבוי מעגלי התאורה מיושם בבנייה קונבנציונלית, ולכן אין השפעה על הפרש העלויות.

5.6 שליטה ברמת המשתמש – תאורה טבעית, בוהק וסנוור

מערכות הצללה פנימיות (ידיניות) כגון ווילונות נגללים מיושמות גם בבנייני משרדים קונבנציונליים בקנה מידה בינוני-גדול. לכן בשני הבניינים יושמה מערכת שכזו (0.25 נק') ואין השפעה על הפרש העלויות.

5.7 שליטה ברמת המשתמש – טמפרטורה

תנאי סף – מתג מרכזי בכניסה לכל חלל לכיבוי מעגלי מיזוג אוויר מיושם גם בבנייה קונבנציונלית, ולכן אין השפעה על הפרש העלויות.

א. שליטת משתמשים עצמאית במערכת מיזוג אוויר:

בניין הייחוס – בבנייה קונבנציונלית מקובל ליישם שליטה עצמאית של המשתמשים אך לא מקובל ליישם בקר טמפרטורה פרופורציונלי לטמפרטורת הסביבה, ולכן לא מתקבל ניקוד על סעיף זה. מקובל ליישם חלוקה למתחמים של עד 7 מ' מכל קיר החיצוני, ומעל 7 מ'.

הבניין הירוק – זהה לבניין הייחוס.

הערה: בקר טמפרטורה פרופורציונלי לסביבה מסייע מאוד ליצור נוחות קבועה במשרד, ומביא לחסכון בהפעלת מיזוג אוויר. יישום בקר שכזה עולה כ- 20 - 30 ש"ח למ"ר ממוזג (מ"ר עיקרי) כלומר כ- 300,000 – 450,000 ש"ח לבניין כולו. היות והבניין הינו בדרגת הסמכה בסיסית בלבד, ולאור העלות הגבוהה ביחס לניקוד (0.25 נק'), הרכיב לא יושם בבניין הירוק, אך ייתכן ויושם בבניינים ירוקים שונים.

ב. חיישן נוכחות לבקרה על מערכת מיזוג האוויר:

חיישן הנוכחות מפעיל ומכבה גם את מערכת מיזוג האוויר וגם את מערכת התאורה.

חיישני נוכחות למיזוג אוויר מיושמים גם בבנייני משרדים קונבנציונליים בקנה מידה בינוני-גדול. לכן בשני הבניינים יושמו חיישני נוכחות (0.25 נק') ועלותם חושבה בסעיף 1.2.1 (ביצועים אנרגטיים של תאורה).

בניין ירוק			בניין הייחוס			הרכיב
ניקוד	סה"כ עלות	אופן חישוב עלות	ניקוד	סה"כ עלות	אופן חישוב עלות	הירוק
0	0	זהה בשני הבניינים	0	0	זהה בשני הבניינים	מתג מרכזי בכניסה לכל חלל מאוכלס
0.25	1.2.1 כלול בסעיף	זהה בשני הבניינים	0.25	1.2.1 כלול בסעיף	זהה בשני הבניינים	חיישן נוכחות
0.25	0		0.25	0		סה"כ

5.8 קשר עם החוץ (מבט לנוף)

בהתאם לתיאור המעטפת (ראו פרק 3) מובטח קשר עם החוץ העונה לדרישות הסעיף בשני הבניינים (0.5 נק') ואין השפעה על הפרש העלויות.

5.10 סנזור הנובע מתאורה פנימית וחיצונית

בשני הבניינים - מערכת התאורה עומדת בת"י 8995 בנושא של סנזור מטריד ותחום ההארה (0.25 נק').

בשטחי החוץ - בבניין הייחוס לא נבחרו גופי תאורה המגבילים פיזור אור מעל קו האופק ומבטיחים נוחות ויזואלית, אולם בעזרת מודעות וללא תוספת עלות, ניתן היה לבחור גופים העומדים בדרישות הסעיף, ולכן הניקוד המתקבל הינו 0 - 0.25 נק'.

בבניין הירוק יושמו גופי תאורה כנדרש וזאת הודות לתכנון מושכל וללא תוספת עלות (0.25 נק').

5.11 רמות תאורה פנימיות וחיצוניות

בשני הבניינים – עוצמת ההארה בלוקס עומדת בדרישות ת"י 8995 (0.25 נק'), ועוצמת ההארה בפיתוח תתאים לדרישות התקן האירופאי EN 12464-2 (0.25 נק'). לכן אין השפעה על הפרש העלויות.

5.12 שימוש בנורות בעלות מקדם מסירת צבע (CRI) 80 לפחות

כיום, רוב נורות ה-LED והפלורסנט הן בעלות CRI >80. לנורות T5 למשל יש CRI >90. לכן שני הבניינים עומדים בדרישות סעיף זה (0.25 נק') ואין השפעה על הפרש העלויות.

5.13 איכות אקוסטית- רמת רעש מרבית⁹⁰

מקובל שרמת הרעש הסביבתי המרבית במשרדים תהיה 40 - 45 dB ולכן גם בבנייה קונבנציונלית מקובל לעמוד בדרישות סעיף זה (0.25 נק') ואף מעבר לכך, ללא השפעה על הפרש העלויות.

5.15 הגבלת תרכובות אורגניות נדיפות (VOC),⁹¹ (תרכובות ברום (BFR))⁹² וקרינה רדיואקטיבית

תנאי סף – סעיף זה הינו תנאי סף המזכה ב 0.5 נק'.

ההנחה הינה שעקב מודעות ותקינה מתקדמת, גם בנייה קונבנציונלית עומדת בדרישות הסעיף, וכי אם נדרשת עלות כספית כדי לעמוד בדרישות, הרי שהיא זניחה.

- תרכובות אורגניות נדיפות (VOC)⁹³ – עפ"י דרישות הסעיף, ניתן להסתפק בבחינת רמות ה VOC לאחר יישום חומרי הגמר (במידה והריהוט אינו מסופק). כיוון שבחומרי בנייה אין כמעט VOC, ע"י בחירה מושכלת של מוצרים וחומרים בכלל, ובפרט ע"י הקפדה על שימוש בחומרים ומוצרים בעלי תו ירוק, אשר מבטיח רמות VOC נמוכות, הבניין הירוק יעמוד בדרישות סעיף זה ללא עלות נוספת פרט לעלות הבדיקה.

עלות בדיקת רמות VOC – בדיקה ע"י קריאה ישירה תעלה כ- 10,000 - 20,000 ₪.⁹⁴

- תרכובות ברום (BFR) – השימוש בתרכובות ברום כמעכבי בעירה אינו נפוץ בחומרי הבנייה, ונעשה שימוש במעכבי בעירה שלא על בסיס ברום. לכן שני הבניינים עומדים בדרישות ואין השפעה על הפרש העלויות.
- קרינה רדיואקטיבית – שני הבניינים עומדים בדרישות ואין השפעה על הפרש העלויות.

הרכיב הירוק			בניין הייחוס			בניין ירוק	
ניקוד	אופן חישוב עלות	סה"כ עלות	ניקוד	אופן חישוב עלות	סה"כ עלות	ניקוד	אופן חישוב עלות
0.5	לא מבוצע	-	-	ללא עלות	ללא עלות	0.5	ללא עלות
	לא מבוצע	-	-	ללא עלות	20,000 – 10,000		20,000 – 10,000
	מתקיים בבנייה קונבנציונלית	-	-	ללא תוספת עלות	-		-
	מתקיים בבנייה קונבנציונלית	-	-	ללא תוספת עלות	-		-
סה"כ	לא מבוצע	0	0		20,000 – 10,000	0.5	20,000 – 10,000

⁹⁰ ראיון אישי עם כרמל פאר – יועץ אקוסטיקה

⁹¹ ראיונות אישיים עם שרון ראובני - מנכ"לית חברת שר ייעוץ והדרכה בע"מ חברה לייעוץ איכות סביבה ובטיחות; ועם ערן בן קנז - מנכ"ל מעבדת אקו'ק מעבדה לניטור תעסוקתי סביבתי

⁹² ראיון אישי עם לימור חושן - מנכ"לית חושן הנדסה וייעוץ, בטיחות גיהות וסביבה

⁹³ נמצאות בעיקר בדבקים, ריהוט המכיל דבקים, שטיחים וכד', והן מתנדפות ככל שהזמן חולף וכתלות באוויר

⁹⁴ הסעיף אינו מפרט את שיטת הבדיקה. מראיון אישי עם ערן בן קנז עולה שהשיטה הזולה ביותר היא קריאה ישירה, אך בדיקה לפי EPA T.O.15 תעלה כ- 100,000 ש"ח. כמו כן, אין בארץ מעבדה מוסמכת לביצוע בדיקת איכות אוויר תוך מבנית

5.16 קרינה אלקטרומגנטית וקרינה מיקרו-מגנטית

תנאי סף – חובה על בניינים לעמוד בחוק הקרינה הבלתי מייננת (2006)⁹⁵ ותקנות הקרינה הבלתי מייננת (2009),⁹⁶ דבר המחייב בין היתר ביצוע בדיקות של רמת הקרינה האלקטרומגנטית מהמתקין, על מנת לוודא שהקרינה ממתקני ההשנאה נמוכה מסף הקרינה המומלץ ע"י המשרד להגנת הסביבה.^{97 98}

כיוון שהעמידה בתנאי הסף הינה חובה הנגזרת מהחוק והתקנות, ולאור המודעות הגבוהה של הציבור לנושא הקרינה ממתקני חשמל, שני הבניינים עומדים בתנאי הסעיף ועל כן אין תוספת עלות.

⁹⁵ [חוק הקרינה הבלתי מייננת 2006](#), רשומות ספר החוקים

⁹⁶ [תקנות הקרינה הבלתי מייננת 2009](#), המשרד להגנת הסביבה

⁹⁷ המשרד להגנת הסביבה, [חשיפה לקרינה אלקטרומגנטית בתדר רשת החשמל](#), המלצות המשרד

⁹⁸ להרחבה ראו: קוט חגי וכ"ץ דוד, 2013, [עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל](#), המועצה הישראלית לבנייה ירוקה, ע"מ 56 - 55

6. פסולת

6.1 ניהול הפסולת המוצקה

תנאי סף – גם בבנייה קונבנציונלית מקובל לבצע הפרדת זרמים ליבש ורטוב ולכן שני הבניינים עומדים בתנאי הסף (0 נק').

בשני הבניינים - גם בבנייה קונבנציונלית מקובל ליישם מחזור של לפחות מרכיב פסולת אחד (ואף יותר) מהזרם היבש (למשל: נייר, קרטון, בקבוקי שתייה, זכוכית, מתכת וכד'), ולכן שני הבניינים עומדים בדרישת הסעיף (2 נק') ואין השפעה על הפרש העלויות.

7. תחבורה

7.1 נגישות לתחבורה ציבורית וחלופית

תנאי סף – על קיבולת החנייה לעמוד בדרישות המינימליות שבתוכנית המקומית אך לא מעבר לכך. לשם פשטות, ההנחה כאן היא שגם בבניין הייחוס וגם בבניין הירוק יהיה אותו מספר חניות עפ"י התקן בתב"ע הספציפית ודרישות הוועדה המקומית / מחוזית שעל פיו תוכנן הבניין.

במידה ובבניין הייחוס היזם היה מרחיב את מספר החניות מעבר למינימום הנדרש, אזי יש להתחשב בכך בחישוב העלויות הנוספות בהתאמה: הגדלת החניון כרוכה מצד אחד בהשקעה נוספת, אך ככל שמספר החניות גדל, יש לשער שההכנסות מהחניון ו/או ערך הנכס יעלו אף הם.⁹⁹

זמינות תחבורה ציבורית - בשני הבניינים - בינוי במרקם עירוני צפוף (כמו זה הנבחר) מאפשר גישה מידית או מאוד קרובה לתחבורה ציבורית ולכן שני הבניינים עומדים בדרישות המקסימליות של הסעיף (1.5 נק') ללא תוספת עלות.

⁹⁹ במקרים מסוימים בהם יזם מעוניין ויכול להגדיל את מספר החניות מעבר לדרישות המינימליות של התוכנית המקומית, הדבר ימנע ממנו את קבלת ת"י 5281.

8. ניהול אתר הבנייה¹⁰⁰

8.1 הפרדה ואחסון של פסולת בניין הניתנת למחזור או לשימוש חוזר

תכנית לניהול פסולת בניין – כלול בעבודתו של היועץ לבנייה ירוקה ולכן ללא תוספת עלות.

תנאי סף – גם בבנייה קונבנציונלית מבוצעת הפרדה לפחות לשני זרמים (מתכות ובטון הכולל קרמיקה ובלוקים), ולכן אין תוספת עלות.

הפרדה לזרמים שונים בבניין הייחוס – לא בהכרח מבוצעת אך יכולה להיות מבוצעת ללא תוספת עלות (ראו פירוט להלן) ולכן הניקוד המתקבל הינו 0 - 0.5 נק'.

הפרדה לזרמים שונים בבניין הירוק – דרך פשוטה ונפוצה לעמוד בדרישות הסעיף היא שהיזם מתקשר עם אתר מורשה למחזור פסולת בניין, ומקבל ממנו התחייבות שהאתר יבצע מיון והפרדה לזרמים שונים.¹⁰¹ בדרך זו ניתן להגיע בקלות יחסית למיון והפרדה של לפחות 5 זרמים: אגרגטים (דקים וגסים), עץ, מתכות (ברזל, אלומיניום, נחושת), נייר + קרטון ופולסטיק.¹⁰² כיוון שאתר מחזור פסולת בניין מבצע את ההפרדה בלאו הכי, ההתחייבות שלו כלפי היזם אינה כרוכה בעלויות נוספות ליזם. עלויות פינוי פסולת בניין לאתר מחזור הינן דומות ואף זולות בכ- 10-20% ביחס לעלויות הפינוי למטמנה מורשית (לא כולל הובלה).¹⁰³ בנוסף, עלות הטיפול בפסולת הבניין ע"י היזם, מושפעת מאוד מעלות השינוע שלה. לכן העלות מושפעת מהמיקום הגיאוגרפי של אתר הבנייה ביחס למיקום אתרי הטמנה / מחזור פסולת בניין קרובים. היות ואתר הבנייה במחקר זה ממוקם בבני ברק, האתר הקרוב אליו ביותר הינו "פארק מיחזור הסירה" בהרצליה,¹⁰⁴ אשר ממין וממחזור פסולת בניין, ולכן סביר שבמקרה זה גם יזם קונבנציונלי יפנה אליו את הפסולת. לכן, הבניין הירוק עומד בדרישות למיון והפרדה לפחות ל-4 זרמי פסולת וזאת ללא עלות נוספת ביחס לבניין הייחוס (0.5 נק').

8.2 מחזור, שימוש חוזר וסילוק פסולת בניין ועודפי עפר

תנאי סף – פינוי פסולת בניין למחזור באתר מורשה של לפחות 35% מפסולת הבניין - הבניין הירוק עומד בתנאי הסף. סביר שגם בניין הייחוס עומד בתנאי הסף כיוון שאתר פינוי פסולת בניין הקרוב ביותר לבני ברק הוא אתר מחזור (ראו פירוט להלן).

¹⁰⁰ ראיונות אישיים עם גל סורקין שפניר

¹⁰¹ ראיון אישי עם דוד כהן - בודק בנייה ירוקה מכון התקנים. אפשר לעמוד בדרישות הסעיף גם ע"י מיון והפרדת פסולת באתר הבנייה עצמו ע"י הקצאת מאצרות כמספר זרמי הפסולת אליהם רוצים להפריד, וכן כוח עבודה לביצוע ההפרדה, אך דרך זו נפוצה פחות

¹⁰² לעיתים חלק ממיון והפרדה מבוצעות ע"י היזם / קבלן באתר עצמו – למשל הפרדת מתכות, תפסנות עץ, משטחי הרמה ועוד.

¹⁰³ ראיונות אישיים עם חן נחמיה, מנהל מכירות חברת בני וצביקה בע"מ, ועם צדוק לוי מאתר ברקת למחזור והטמנת פסולת

¹⁰⁴ המשרד להגנת הסביבה 2014, [רשימת אתרי הטמנה ומפעלי מחזור לסילוק וטיפול בפסולת בנייה](#), המשרד להגנת הסביבה 2013, [רשימת אתרי הטמנת פסולת מעורבת](#)

בניין הייחוס –

- פסולת הבניין מפונה למטמנה או לאתר מחזור עפ"י שיקולי עלות, מרחק, קשרי עבודה ועוד, ולכן באופן כללי, בניין הייחוס לא בהכרח מיישם סעיף זה. אולם באתרים רבים של סילוק פסולת בניין, קיימים מפעלי מחזור פסולת ולכן סביר שגם בניין קונבנציונלי יפנה את הפסולת לאתר מחזור. היות ואתר הבנייה במחקר זה ממוקם בבני ברק, האתר הקרוב אליו ביותר הינו "פארק מיחזור הסירה" בהרצליה,¹⁰⁵ אשר ממין וממחזור פסולת בניין, ולכן סביר שבמקרה זה גם יזם קונבנציונלי יפנה אליו את הפסולת. לכן, סביר להניח כי בניין הייחוס מפנה לפחות 70% מפסולת הבניין לאתר מחזור (0.5 נק').
- שימוש חוזר בפסולת בניין באתר עצמו – למרות שיישום הסעיף אינו כרוך בעלויות נוספות, הנושא לא בהכרח מיושם בבנייה קונבנציונלית, על אף שניתן לחסוך עלויות של אגרגטים ראשוניים¹⁰⁶ (0 - 0.25 נק').
- הפחתת פסולת בניין ב- 80% - לא מבוצע (0 נק').
- עודפי עפר - לפחות 90% מעודפי העפר טופלו באתר או הועברו לאתר מורשה – לרוב היזם משתמש בכל עודפי העפר באתר עצמו ו/או מעביר עודפים לאתר אחר בו הוא בונה. כמו כן, בד"כ הרשות המקומית דורשת טיפול ב- 100% מעודפי העפר. לכן סעיף זה למעשה מיושם בבנייה קונבנציונלית (0.5 נק').

הבניין הירוק –

- פסולת בניין - פסולת הבניין מפונה למטמנה או לאתר מחזור עפ"י שיקולי עלות, מרחק הובלה, קשרי עבודה ועוד, ולכן באופן כללי, האתר אליו מפונה הפסולת תלויה במיקום גאוגרפי של הפרויקט ביחס למיקום אתרי מחזור / הטמנה. עם זאת, עלויות פינוי פסולת בניין לאתר מחזור הינן דומות ואף זולות בכ- 10% - 20% ביחס לעלויות הפינוי למטמנה מורשית (לא כולל הובלה).¹⁰⁷ היות ואתר הבנייה ממקום בבני ברק, סביר כי לפחות 70% מפסולת הבניין פונתה למחזור באתר "פארק מיחזור הסירה" (0.5 נק') ואין לכך עלות נוספת ביחס לבניין הייחוס.
- שימוש חוזר בפסולת בניין באתר עצמו - נעשה שימוש חוזר בלפחות 10% מסך פסולת הבניין (0.25 נק') – מיושם בקלות וללא עלות / עלות זניחה / חסכון בעלויות.¹⁰⁸ באתרי בנייה גדולים של מעל 5,000 מ"ר, לעיתים כלכלי לגרוס את פסולת הבניין (בטונים, בלוקים וכד') באתר עצמו ולהשתמש בחומרים בעיקר למצעים.¹⁰⁹ אפשרות נוספת היא לשלוח את הפסולת לאתר מחזור פסולת בניין, ולרכוש ממנו את החומרים הממוחזרים.
- הפחתת פסולת בניין ב- 80% - לא מבוצע (0 נק').
- עודפי עפר - לפחות 90% מעודפי העפר טופלו באתר או הועברו לאתר מורשה (0.5 נק') – מיושם גם בבנייה קונבנציונלית ולכן אין השפעה של יישום סעיף זה על הפרש העלויות.

¹⁰⁵ המשרד להגנת הסביבה 2014, [רשימת אתרי הטמנה ומפעלי מחזור לסילוק וטיפול בפסולת בנייה](#), המשרד להגנת הסביבה

2013, [רשימת אתרי הטמנת פסולת מעורבת](#)

¹⁰⁶ ראו פירוט בסעיף 4.2 (חומרים ממוחזרים) הנ"ל

¹⁰⁷ ראיונות אישיים עם חן נחמיה וצדוק לוי

¹⁰⁸ ראו סעיף 4.2 (חומרים ממוחזרים) הנ"ל

¹⁰⁹ קוט חגי 2013, [תמלוגים על כריית חצץ בישראל](#), אדם טבע ודין

לסיכום, בסעיף זה בניין הייחוס מקבל 1 - 1.25 נק' והבניין הירוק מקבל 1.25 נק' וזאת ללא עלות נוספת.

8.3 מזעור השפעות אתר הבנייה

תנאי סף – ניהול סביבתי של אתר הבנייה - הבניין הירוק עומד בתנאי הסף ללא עלות נוספת. בבנייה קונבנציונלית אין ודאות כי מקפידים על ניהול סביבתי של אתר הבנייה, והדבר תלוי גם בדרישות הרשות המקומית וגם בנהלי עבודה של הקבלן.

8.4 בדיקות של מערכות הבניין לפני מסירה

תנאי סף – סעיף זה מהווה תנאי סף ומקנה 0.5 נק'.

בשני הבניינים - בכל פרויקט בסדר גודל כזה, מבוצעת בדיקת מערכות כוללת ע"י מנהל הפרויקט. ייתכן שבבנייה קונבנציונלית הבדיקה מבוצעת ברמה מעט נמוכה יותר ולכן בניין הייחוס מקבל 0 - 0.5 נק'. הבניין הירוק עומד בדרישות הסעיף, והערכת תוספת העלות ליישומי הינה כ- 50,000 - 60,000 ₪.

8.5 מדריך למשתמש בבניין

תנאי סף – בבנייה קונבנציונלית לא קיים מדריך למשתמש בצורה מוגדרת, אך כיוון שיש ליזם והקבלן אינטרס שיהיה מדריך שכזה, בכדי למנוע תקלות ועיכובים בתקופת הבדק, קיים מדריך לאנשי התחזוקה. בבניין הירוק יש דרישה למדריך מסודר למשתמשים בבניין (0 נק') אך ההערכה היא כי העלות לכך הינה שולית.

8.7 מלווה בנייה בת קיימה (בנייה ירוקה)

בניין הייחוס – לא מיושם.

הבניין הירוק – מועסק מלווה בנייה ירוקה מתחילת תהליכי התכנון ועד סוף תהליכי ההקמה (1.5 נק'). עלות ההעסקה משתנה מיועץ ליועץ ומוערכת בכ- 50,000 - 150,000 ₪.¹¹⁰

¹¹⁰ הערכת העלות התקבלה מראיונות אישיים עם יועצי בנייה ירוקה הבאים: מיכל ויטל ברון - תכנון וייעוץ לבנייה ירוקה, משרד ויטל - רוזנברג אדריכלים; תמי הירש - משרד תמי הירש אדריכלים - משרד תכנון המתמחה בבנייה ירוקה; שמוליק ליפשיץ - בעלים ומנכ"ל של חברת ESD פיתוח סביבה וקיימות; וסאם אלפסי - מייסד שותף בחברת WAWA - אדריכלות ירוקה בע"מ

9. חדשנות

9.2 שימוש בבניין ככלי מדידה

בניין הייחוס – לא מיושם

הבניין הירוק – עמידה בסעיף מקנה 1 נק' והיא אינה כרוכה בעלות / כרוכה בעלות זניחה. יחד עם זאת, בשל החשש כי בפועל יזמים לא יחפצו להעמיד את נתוני ההגשה של הבניין לצרכי לימוד והדרכה של מכון התקנים, לא נרשמו נקודות בסעיף זה.

אגרה למכון התקנים¹¹¹

גובה האגרה המשולמת למכון התקנים הינו פונקציה של השטח הבנוי, אך קיים גובה מקסימלי לאגרה העומד על 40,000 ש. היות ולרוב בנייני משרדים מגיעים לגובה האגרה המקסימלי, חושבה עלות זו גם לבניין הירוק.

¹¹¹ ראיון אישי עם דוד כהן, מכון התקנים

סיכום השוואת עלויות

מס' סידורי	מס' סעיף	שם סעיף	רכיב הירוק	בניין הייחוס						בניין ירוק		עלות ההשקעה הנוספת		
				הערות	סה"כ עלות מינימום	סה"כ עלות מקסימום	ניקוד מינימום	ניקוד מקסימום	הערות	סה"כ עלות מינימום	סה"כ עלות מקסימום	ניקוד	מינימום	מקסימום
1	1.1.1	תכנון ביו – אקלימי - חימום וקירור פסיביים	ניתוח אקלימי ומערכות פסיביות	המערכות הפסיביות זהות בשני הבניינים	0	0	2	2	עלות הניתוח כלולה בסעיף 8.7	0	0	2	-	-
2	1.1.2	תכנון ביו אקלימי- שמש וצל	גג בניין חשוף זהה בשני הבניינים		0	0	1	1	הפרש עלויות כלול בסעיף 2.4 ו- 8.7	0	0	2	-	-
3	1.1.3	דירוג אנרגטי לפי ת"י 5282 חלק 2	הקטנת חשיפה במזרח ומערב ע"י קופסת צל	לא מבוצע	0	0	0	0	150 מ"ר למ"ר	178,200	178,200	5	178,200	178,200
			פרופילי הצללה בחזית הדרומית	לא מבוצע	0	0	0	0	250 מ"ר למטר אורך	445,500	445,500		445,500	445,500
			כלול בסעיף 1.2.1	0	0	0	0	0	0	-	-			
			עלות דו"ח 1045	12,000	15,000	0	0	עלות דו"ח 5282	20,000	20,000	0	5,000	8,000	
			סה"כ		12,000	15,000	0	0		643,700	643,700	5	628,700	631,700
4	1.2.1	ביצועים אנרגטיים של תאורה	נורות, גופי תאורה, חיישני נוכחות, ניהול מרכזי, חיישני תאורה ותאורת חוץ	1,130,400	1,130,400	2	2		1,126,240	1,136,240	7.5	-4,160	5,840	
5	1.2.4.1	מערכות מיזוג אוויר מרכזיות	מערכת מיזוג אוויר מרכזית בעלת נצילות אנרגיה מדרגה B	0	0	0	0	זהה בשני הבניינים	0	0	0	-	-	
6	1.2.5	אמצעים משניים למדידה ובקרה של אנרגיה	אמצעי מדידת אנרגיה משניים למערכת מיזוג אוויר ותאורה	0	0	0	0.75	זהה בשני הבניינים	0	0	0.75	-	-	
7	1.2.6	מערכת ניהול אנרגיה בבניין (BEMS)	מערכת ניהול אנרגיה בבניין	0	0	3	3	זהה בשני הבניינים	0	0	3	-	-	
8	1.2.7.1	מעליות	מעליות בעלות מע' לזיכרון מהירות	0	0	0.75	0.75	זהה בשני הבניינים	0	0	0.75	-	-	
9	1.2.8	פתרונות למערכות מידע (IT) בעלות נצילות אנרגיה גבוהה	פתרונות למערכות מידע (IT) בעלות נצילות אנרגיה גבוהה	0	0	0.75	0.75	זהה בשני הבניינים	0	0	0.75	-	-	
10	2.1	בחירת האתר	בחירת אתר מופר	0	0	2.5	2.5	זהה בשני הבניינים	0	0	2.5	-	-	
11	2.3	צפיפות הבנייה והפיתוח	בנייה צפופה	0	0	3.5	3.5	זהה בשני הבניינים	0	0	3.5	-	-	
12	2.4	תופעת אי החום העירוני	ריצוף, גיבון, מצעים, תקרת חניון ותחזוקת גינה	272,570	300,410	0	1		509,380	635,380	1	208,970	362,810	
13	2.5	מירוב השימוש בקרקע	הקצאת שטח פתוח לטובת שימושים התומכים בקיימות	0	0	1	0	כלול בסעיף 2.4 ניתן לביצוע ללא תוספת עלות	0	0	2	-	-	
14	2.7	אקולוגיית האתר	זיהוי ושיפור אקולוגיית האתר	לא מבוצע	0	0	0	0	עלות יועץ	6,000	12,000	0.5	6,000	12,000
15	3.1	חיסכון בשימוש במים שפירים בבניין	חסכמים ו/או ברזים אלקטרוניים ב- 90% מהמקלחים והברזים	0	0	2	2	זהה בשני הבניינים	0	0	2	-	-	
16	3.2	אמצעי מדידה משניים ואמצעי בקרה – מים	מערכת ניטור דליפות וברזי סולנואיד בבתי השימוש	0	0	4	4	זהה בשני הבניינים	0	0	4	-	-	

מס' סידורי	מס' סעיף	שם סעיף	הרכיב הירוק	בניין הייחוס					עלות ההשקעה הנוספת				
				הערות	סה"כ עלות מינימום	סה"כ עלות מקסימום	ניקוד מינימום	ניקוד מקסימום	הערות	סה"כ עלות מינימום	סה"כ עלות מקסימום	ניקוד	מקסימום
17	3.3	חיסכון במים שפירים להשקיה בגינות	גינה חסכנית במים ומערכת לאיסוף מי עיבוי מזגנים	לא מבוצע	0	0	0	0	מערכת איסוף מי עיבוי מזגנים (הגינה) כלולה בסעיף 2.4	42,000	42,000	3	42,000
18	3.4	ניהול מי גר עילי וניקוז	בורות חלחול וייעוץ	בור אחד	15,000	20,000	1.75	1.75	2-4 בורות	30,000	80,000	4	10,000
19	4.1	בחירת חומרים ומוצרים בעלי תו ירוק	בחירת חומרים ומוצרים בעלי תו ירוק	ניתן ליישם ללא תוספת עלות	0	0	0	0	מבוצע. ללא עלות	0	0	3	-
20	4.2	חומרים ממוחזרים	שימוש בחומרים ממוחזרים	זהה בשני הבניינים	0	0	0	2	זהה בשני הבניינים	0	0	2	-
21	4.3	חומרים ומוצרים מקומיים	שימוש בחומרים מקומיים	זהה בשני הבניינים	0	0	0	1	זהה בשני הבניינים	0	0	1	-
22	5.1	תכנון ביו-אקלימי – רוח	תנאי סף: ניתוח משטר רוחות	זהה בשני הבניינים	0	0	0	0	זהה בשני הבניינים	0	0	0	-
23	5.3	אספקת אוויר צח ממקור נקי	תנאי סף: מיקום פתחי יניקה ויציאה של מע' אוורור	זהה בשני הבניינים	0	0	0	0	זהה בשני הבניינים	0	0	0	-
24	5.4	איכות האוויר בתוך הבניין	שיעור אוויר צח	זהה בשני הבניינים	0	0	0	0.5	זהה בשני הבניינים	0	0	0.5	-
			חיישני פד"ח	לא מבוצע	0	0	0	0	מבוצע	72,000	72,000	0.5	72,000
25	5.5	שליטה ברמת המשתמש – תאורה	תנאי סף: מתג מרכזי לתאורה בכל יחידת משרדים	זהה בשני הבניינים	0	0	0	0	זהה בשני הבניינים	0	0	0	-
26	5.6	שליטה ברמת המשתמש – תאורה טבעית, בוחק וסנור	מערכות הצללה פנימיות (וילונות)	זהה בשני הבניינים	0	0	0	0.25	זהה בשני הבניינים	0	0	0.25	-
27	5.7	שליטה ברמת המשתמש – סמפרטורה	מתג מרכזי למיזוג אוויר וחיישן נוכחות	מבוצע בשני הבניינים. עלות כלולה בסעיף 1.2.1	0	0	0	0.25	עלות כלולה בסעיף 1.2.1	0	0	0.25	-
28	5.8	קשר עם החוץ (מבט לנוף)	קשר חזותי עם החוץ	זהה בשני הבניינים	0	0	0	0.5	זהה בשני הבניינים	0	0	0.5	-
29	5.1	סנור הנובע מתאורה פנימית וחיצונית	ג"ת המונעים סנור	תאורת פנים – זהה בשני הבניינים. תאורת חוץ-ניתן ליישם ללא תוספת עלות	0	0	0	0.25	מבוצע. ללא עלות	0	0	0.5	-
30	5.11	רמות תאורה פנימיות וחיצונית	עוצמת תאורה לפי התקנים	זהה בשני הבניינים	0	0	0	0.5	זהה בשני הבניינים	0	0	0.5	-
31	5.12	שימוש בנורות בעלות מקדם מסירת צבע (CRI) 80 לפחות	נורות בעלות CRI מעל 80	זהה בשני הבניינים	0	0	0	0.25	זהה בשני הבניינים	0	0	0.25	-
32	5.13	איכות אקוסטית-רמת רעש מרבית	רמת רעש פנימי נמוך	זהה בשני הבניינים	0	0	0	0.25	זהה בשני הבניינים	0	0	0.25	-
33	5.15	הגבלת תרבות אורגניות נדיפות (VOC), תרבות ברם (BFR) וקרינה רדיואקטיבית	תנאי סף: הגבלת התרבות והקרינה	זהה בשני הבניינים אך לא מבוצעת בדיקת VOC	0	0	0	0	עלות בדיקת VOC	10,000	20,000	0.5	10,000

מס' סידורי	מס' סעיף	שם סעיף	רכיב הירוק	בניין הייחוס						עלות ההשקעה הנוספת		
				הערות	סה"כ עלות מינימום	סה"כ עלות מקסימום	ניקוד מינימום	ניקוד מקסימום	הערות	סה"כ עלות מינימום	סה"כ עלות מקסימום	ניקוד
34	5.16	קרינה אלקטרומגנטית וקרינה מיקרו-מגנטית	בדיקת קרינה	זהה בשני הבניינים	0	0	0	0	זהה בשני הבניינים	0	0	-
35	6.1	ניהול הפסולת המוצקה	הפרדה לרמיים יבש ורטוב, והפרדת מרכיב יבש	זהה בשני הבניינים	0	0	2	2	זהה בשני הבניינים	0	0	-
36	7.1	נגישות לתחבורה ציבורית וחלופית	קיבולת חניה וקירבה לתח"צ	זהה בשני הבניינים	0	0	1.5	1.5	זהה בשני הבניינים	0	0	-
37	8.1	הפרדה ואחסון של פסולת בניין הניתנת למחזור / לשימוש חוזר	הפרדת פסולת לסוגים	שני סוגים - מבוצע. 4 סוגים - ניתן ליישם ללא תוספת עלות	0	0	0	0	ארבעה סוגים ללא תוספת עלות	0	0	-
38	8.2	מחזור, שימוש חוזר וסילוק פסולת בניין ועודפי עפר	פינוי פסולת לאתר מחזור וטיפול בעודפי עפר - זהה בשני הבניינים. שימוש חוזר בפסולת-ניתן ליישום ללא תוספת עלות	פינוי פסולת לאתר מחזור, שימוש חוזר באתר, טיפול בעודפי עפר	0	0	1	1.25		0	0	-
39	8.3	מזעור השפעות אתר הבנייה	תנאי סף: ניהול סביבתי של אתר הבנייה	לא בהכרח מבוצע	0	0	0	0	ללא עלות נוספת	0	0	-
40	8.4	בדיקות של מערכות הבניין לפני מסירה	תנאי סף: בדיקת מערכות לפני מסירה	ייתכן ומבוצע ברמה נמוכה יותר	0	0	0	0.5	מבוצע	50,000	60,000	60,000
41	8.5	מדריך למשתמש בבניין	תנאי סף: מדריך למשתמש בבניין	מבוצע בצורה כזו או אחרת	0	0	0	0	מבוצע בעלות זניחה	0	0	-
42	8.7	מלווה בנייה בת קיימה (בנייה ירוקה)	שכירת מלווה לבנייה ירוקה לתכנון והקמה	לא מבוצע	0	0	0	0		50,000	150,000	150,000
43		אגרה למכון התקנים		לא מבוצע	0	0	0	0		40,000	40,000	40,000
44	סה"כ				1,429,970	1,465,810	34.25	40.75		2,579,320	2,891,320	61.5
										1,113,510	1,461,350	

טבלה 4.4 – סיכום השוואת עלויות

5. ניתוח הממצאים

א. עלויות ועלויות למ"ר

מהממצאים עולה כי הבניין הירוק זכאי ל- 61.5 נק', ואילו בניין הייחוס זכאי ל- 34.25 – 40.75 נק'. סה"כ הערכת עלות ההשקעה הנוספת בגין רכיבים ירוקים בבניין הירוק לעומת בניין הייחוס הינה 1,113,510 – 1,461,350 ₪. הערכה זו כוללת את ההשקעה הנוספת ב- 18 הקומות הטיפוסיות ובפיתוח הנופי, ואינה כוללת את ההשקעה הנוספת בלובי הכניסה ובקומה הטכנית, וזאת מתוך הנחה שבשני הבניינים קומות אלו הינן זהות או דומות.

בכדי לקבל אומדן לעלות ההשקעה הנוספת למ"ר משרדים בנוי, נכון יותר להתחשב בהערכת עלות ההשקעה הנוספת ללא ההשקעה בפיתוח הנופי (סעיפים 2.4, 2.5, ו- 2.7 בת"י 5281), אשר מושפעת בעיקר מגודל השטח המגוון ולא משטח הבניין עצמו. עלות ההשקעה הנוספת ללא ההשקעה בפיתוח הנופי עומדת על כ- 898,540 – 1,086,540 ₪. מכאן שהערכת עלות ההשקעה הנוספת למ"ר בנוי הינה: 47.5 – 57.5 ₪.¹¹² עפ"י מחירון דקל,¹¹³ עלויות בניית מעטפת בלבד של מבנה משרדים עילי, הכוללת: גמר מעטפת, מערכות ראשיות (נק' הזנה וחיבור של אינסטלציה, צנרת כיבוי אש, חשמל, תקשורת ומיזוג אוויר), ועבודות גמר בשטחים ציבוריים (ריצוף, חיפוי, נגרות, תקרות אקוסטיות, שירותים ציבוריים, ממ"קים, ומעליות) הינה כ- 4,500 ₪ למ"ר¹¹⁴ (מחירי פברואר 2014) ובהתאמה למדד מחירי תשומה בבנייה למסחר ולמשרדים הינה כ- 4509 ₪ למ"ר (במחירי יוני 2014).¹¹⁵ מכאן שעלות ההשקעה הנוספת למ"ר משרד בבניין הירוק מהווה כ- 1.05% – 1.28% מסך עלות מ"ר משרד בבניין הייחוס. עפ"י הערכה גסה יותר של עלות בניית מ"ר משרדים הנעה בין 4,000 – 6,000 ₪ למ"ר,¹¹⁶ עלות ההשקעה הנוספת למ"ר משרד בבניין הירוק מהווה כ- 0.8% – 1.44%. אחוז עלות ההשקעה הנוספת ביחס לעלות בנייה קונבנציונלית, תואם את הממצאים ממחקרים מחו"ל ומהארץ אשר מצאו שבממוצע תוספת העלות של בנייה ירוקה הינה בין 0% – 3% בלבד.¹¹⁷

ב. ניתוח השוואתי של עלויות הרכיבים השונים

מתוך סך עלות ההשקעה הנוספת המקסימלית,¹¹⁸ סעיפי ההשקעה העיקריים הינם: פרופילי הצללה בחזית הדרומית (מהווים 31% מסך ההשקעה) והקטנת חשיפה לשמש במזרח ומערב ע"י קופסת צל (12%). שני רכיבים אלו נועדו להגיע לדירוג אנרגטי ברמה C עפ"י 5282 כמתחייב בסעיף 1.1.3. בנוסף, עלות ההשקעה הנוספת בפיתוח הנופי מהווה 25% מסך ההשקעה הנוספת.

¹¹² בכל קומה יש 1050 מ"ר (שטח עיקרי+שירות) X 18 קומות = 18,900 מ"ר בנוי

¹¹³ מחירון דקל מרץ 2014, מאגר מחירי בנייה ותשתיות, ע"מ 716

¹¹⁴ לא כולל עלויות קרקע, עבודות פיתוח, תכנון, פיקוח, מיסים, אגרות והיטלים, שיווק ומע"מ

¹¹⁵ ראו: למ"ס 2014, [אתר למ"ס – חישובי הצמדה](#).

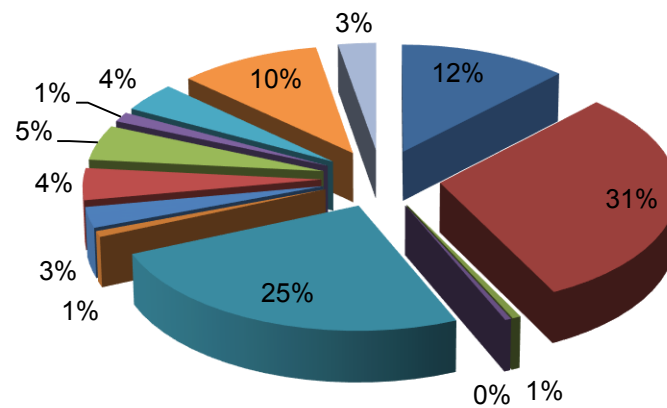
¹¹⁶ ראיון אישי עם ארז לטנר - אדריכל, מנהל פרויקטים בחברת א. אפשטיין

¹¹⁷ להרחבה על מחקרים בחו"ל ראו קוט חגי וכ"ץ דוד, 2013, [עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל](#), המועצה הישראלית לבנייה ירוקה, פרק סקירת הספרות

¹¹⁸ להרחבה על מחקרים בארץ ראו: נגה לבציון נדן, 2014, עלויות בנייה ירוקה, עבור המשרד להגנת הסביבה
מכאן ואילך הניתוח מתייחס לעמודת "עלות ההשקעה הנוספת מקסימום" בטבלה 4.4 - סיכום השוואת עלויות

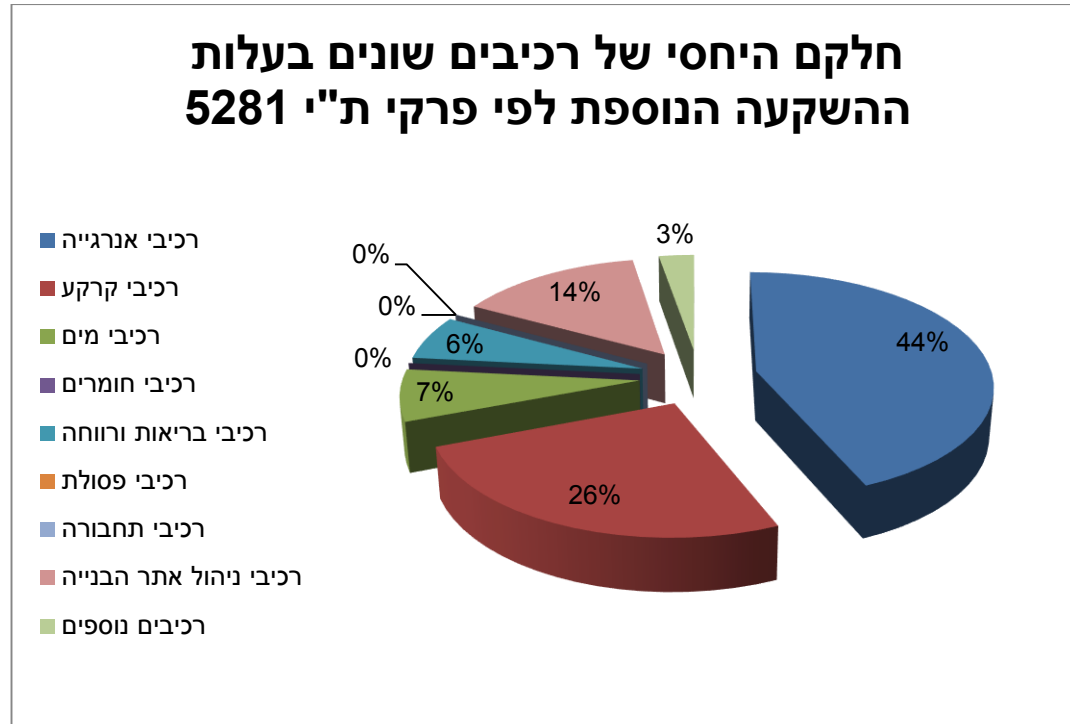
חלקם היחסי של רכיבים שונים בעלות ההשקעה הנוספת (המקסימלית)

- הקטנת חשיפה במזרח ומערב ע"י קופסת צל
- פרופילי הצללה בדרום
- יועץ תרמי
- מערכת תאורה
- פיתוח נופי
- שיפור אקולוגיית האתר
- איסוף מי עיבוי מזגנים
- בורות חלחול
- חיישני פד"ח
- VOC בדיקת
- בדיקת מערכות לפני מסירה
- מלווה לבנייה ירוקה
- אגרה למכון התקנים



איור 5.1 - חלקם היחסי של רכיבים שונים בעלות ההשקעה הנוספת (המקסימלית)

מניתוח חלקם היחסי של רכיבים שונים (לפי הפרקים בת"י 5281) בעלות ההשקעה הנוספת ניתן לראות בבירור שההשקעה ברכיבי האנרגיה היא המשמעותית ביותר ומגיעה ל 44% מעלות ההשקעה הנוספת הכוללת:



איור 5.2 - חלקם היחסי של רכיבים שונים בעלות ההשקעה הנוספת לפי פרקי ת"י 5281

נתון מעניין נוסף הוא, שלמרות שעלות מערכות התאורה בשני הבניינים כמעט וזהה, הודות למודעות ותכנון מושכל של המערכת בבניין הירוק, מיושמת בו מערכת תאורה חסכונית וחכמה עם עומס תאורה הקטן בכ- 23% מעומס התאורה של המערכת בבניין הייחוס. (עומס התאורה ביחידות של וואט למ"ר, להרחבה ראו סעיף 1.2.1 בפרק 4). מערכת זו צפויה לחסוך כ- 63% מהוצאות החשמל על תאורה, כלומר כ- 224,000 ₪ בשנה.

ג. עלויות רכיבים ירוקים נוספים אשר לא ייושמו בבניין הירוק שבמחקר

כאמור, הבניין הירוק זכאי ל- 61.5 נק' עפ"י ת"י 5281 בגין הרכיבים הירוקים אשר יושמו בו ועל כן מדורג ברמה בסיסית של כוכב אחד (55 - 64 נק'). היות ומטרת המחקר הינה לאמוד את עלות ההשקעה הנוספת בבניין משרדים בדרגת הסמכה בסיסית בלבד, לא יושמו בו מספר רכיבים בודדים שזוהו במהלך המחקר, אשר ייתכן ויושמו בבניינים ירוקים השואפים לדרגת הסמכה גבוהה יותר ומפורטים להלן:

1. פרופילי הצללה – בתכנון הקיים, פרופילי ההצללה בולטים מחזית הבניין הדרומית ב- 20 ס"מ. ע"י הגדלת פרופילי ההצללה כך שיבלטו ב- 40 – 60 ס"מ מהחזית (או ע"י הוספת פרופילים אופקיים וצמצום המרחקים האנכיים ביניהם), ניתן להגיע ליעילות הצללה גבוהה יותר אשר תשפר את הביצועים האנרגטיים של הבניין. הגדלה זו עשויה לסייע להעלות את הדירוג האנרגטי של הבניין אשר מזכה בנקודות נוספות (עלייה מדרגה C לדרגה B למשל מעניקה 4 נק')

נוספות). עלות יישום פרופילי הצללה באורך 40 - 60 ס"מ נאמדת בכ- 500 - 750 ₪ למ' אורך, כלומר עלות של 891,000 – 1,336,500 ₪ לבניין כולו.

2. מערכות מיזוג אוויר מרכזיות (סעיף 1.2.4) ¹¹⁹ – עפ"י גיליון תיקון מס' 1 לת"י 5281 חלק 3, במידה ומערכת מיזוג אוויר מסופקת יחד עם הבניין, בכדי לקבל ניקוד עבור מע' מיזוג אוויר בסעיף 1.2.4, על כל החלונות הניתנים לפתיחה לכולל חיישן המפסיק את פעולת מיזוג האוויר כאשר החלונות פתוחים. הערכת עלות ליישום חיישן שכזה הינה 500-700 ₪ לחיישן. בבניין הירוק יש כ- 9 חלונות נפתחים בחזית, כלומר 36 בקומה, ולכן עלות החיישנים לבניין כולו הינה כ- 324,000 – 453,600 ₪. מערכת זו מקנה 0.75 נק'. בנוסף, ניתן למשל ליישם מערכת מיזוג אוויר בעלת נצילות אנרגטית מדרגה A עם שילוב וסת מהירות VSD. מקדם היעילות (COP) של מערכת שכזו הינו לפחות 3.2. ע"י כך ניתן להגיע לשיפור של כ- 15% - 20% מדרישות ת"י 5280 חלק 3 (0.5 - 1 נק'). היות ומערכת מיזוג אוויר משמשת גם לחימום, הבניין יהיה זכאי בנוסף גם ל 0.5 - 1 נק' בגין סעיף 1.2.4.4. העלות הנוספת של מערכת שכזו בבניין הירוק מוערכת בכ- 40 - 60 שח למ"ר, כלומר 610,000 – 912,000 ₪ לכל הבניין. ההערכה היא שההשקעה מחזירה את עצמה בתוך שנים בודדות. לסיכום, במידה והיזם יבחר ליישם מערכת חיישנים לחלונות ומערכת מיזוג אוויר כנ"ל, הוא צפוי לקבל בגין כך 1.75-2.75 נק' בעלות של כ- 934,000 – 1,365,000 ₪.

3. בקר טמפרטורה פרופורציונלי לסביבה - מסייע מאוד ליצור נוחות קבועה במשרד, ומביא לחסכון בהפעלת מיזוג אוויר. יישום בקר שכזה עולה כ- 20 - 30 ₪ למ"ר ממוזג (מ"ר עיקרי) כלומר כ- 300,000 – 450,000 ₪ לבניין כולו ומזכה ב- 0.25 נק'.

להלן טבלה המסכמת את הממצאים הנ"ל:

הרכיב הירוק	פירוט	תוספת עלות ב ₪	תוספת ניקוד
פרופילי הצללה	יישום פרופילי הצללה הבולטים ב 40 - 60 ס"מ מהחזית(במקום 20 ס"מ)	891,000 עד 1,336,500	יכולה להתקבל תוספת ניקוד במידה ויהיה שיפור בדירוג האנרגטי של הבניין עפ"י בדיקות ת"י 5282
מערכות מיזוג אוויר מרכזיות	חיישן בחלונות נפתחים	324,000 עד 453,600	0.75
	מערכת בעלת נצילות אנרגטית מדרגה A בשילוב וסת מהירות VSD	610,000 עד 912,000	1 - 2
בקר טמפרטורה פרופורציונלי לסביבה		300,000 עד 450,000	0.25
סה"כ		2,125,000 עד 3,152,100	2 - 3

טבלה 5.1 - עלויות וניקוד רכיבים ירוקים נוספים אשר לא יושמו בבניין הירוק שבמחקר

¹¹⁹ ראיונות אישיים עם המהנדס רפי אהרני

ד. רכיבים ירוקים בבנייה קונבנציונלית

מהממצאים עולה כי גם בניין משרדים קונבנציונלי צפוי להיות זכאי עפ"י ת"י 5281 לפחות ל- 34.25 נק' בגין רכיבי בנייה אשר נהוג ליישם ממילא בבנייני משרדים. להלן ריכוז הרכיבים הירוקים שנהוג ליישם בבנייה קונבנציונלית:

מס' סידורי 120	מס' סעיף	שם סעיף	הרכיב הירוק	ניקוד
1	1.1.1	תכנון ביו – אקלימי - חימום וקירור פסיביים	ניתוח אקלימי ומערכות פסיביות	2.00
2	1.1.2	תכנון ביו אקלימי-שמש וצל	גג בניין חשוף זהה בשני הבניינים	1.00
4	1.2.1	ביצועים אנרגטיים של תאורה	נורות, גופי תאורה, חיישני נוכחות, ניהול מרכזי, חיישני תאורה ותאורת חוץ	2.00
6	1.2.5	אמצעים משניים למדידה ובקרה של אנרגיה	אמצעי מדידת אנרגיה משניים למערכת מיזוג אוויר ותאורה	0.75
7	1.2.6	מערכת ניהול אנרגיה בבניין (BEMS)	מערכת ניהול אנרגיה בבניין	3.00
8	1.2.7.1	מעליות	מעליות בעלות מע' לוויסות מהירות	0.75
9	1.2.8	פתרונות למערכות מידע (IT) בעלות נצילות אנרגיה גבוהה	פתרונות למערכות מידע (IT) בעלות נצילות אנרגיה גבוהה	0.75
10	2.1	בחירת האתר	בחירת אתר מופר	2.50
11	2.3	צפיפות הבנייה והפיתוח	בנייה צפופה	3.50
15	3.1	חיסכון בשימוש במים שפירים בבניין	חסכמים ו/או ברזים אלקטרוניים ב- 90% מהמקלחים והברזים	2.00
16	3.2	אמצעי מדידה משניים ואמצעי בקרה – מים	מערכת ניטור דליפות וברזי סולונואיד בבתי השימוש	4.00
18	3.4	ניהול מי נגר עילי וניקוז	בורות חלחול וייעוץ	1.75
20	4.2	חומרים ממוחזרים	שימוש בחומרים ממוחזרים	2.00
21	4.3	חומרים ומוצרים מקומיים	שימוש בחומרים מקומיים	1.00
24	5.4	איכות האוויר בתוך הבניין	שיעור אוויר צח	0.50
26	5.6	שליטה ברמת המשתמש – תאורה טבעית, בוהק וסנור	מערכות הצללה פנימיות (וילונות)	0.25
27	5.7	שליטה ברמת המשתמש - טמפרטורה	מתג מרכזי למיזוג אוויר וחיישן נוכחות	0.25
28	5.8	קשר עם החוץ (מבט לנוף)	קשר חזותי עם החוץ	0.50
29	5.10	סנור הנובע מתאורה פנימית וחיצונית	ג"ת בתוך הבניין המונעים סנור	0.25
30	5.11	רמות תאורה פנימיות וחיצוניות	עוצמת תאורה לפי התקנים	0.50
31	5.12	שימוש בנורות בעלות מקדם מסירת צבע (CRI) 80 לפחות	נורות בעלות CRI מעל 80	0.25
32	5.13	איכות אקוסטית- רמת רעש מרבית	רמת רעש פנימי נמוך	0.25
35	6.1	ניהול הפסולת המוצקה	הפרדה לזרמים יבש ורטוב, והפרדת מרכיב יבש	2.00
36	7.1	נגישות לתחבורה ציבורית וחלופית	קיבולת חניה וקירבה לתח"צ	1.50
38	8.2	מחזור, שימוש חוזר וסילוק פסולת בניין ועודפי עפר	פינוי פסולת לאתר מחזור, טיפול בעודפי עפר	1.00
44	סה"כ			34.25

טבלה 5.2 – רכיבים ירוקים נפוצים בבנייה קונבנציונלית

¹²⁰ תואם את המס' הסידורי בטבלה 4.4 - סיכום השוואת עלויות

בנוסף, עולה כי קיימים רכיבי בנייה ירוקים אשר במידה וקיימת מודעות ותשומת לב, ניתן ליישם בבניין קונבנציונלי ללא עלות פרט לעלות יועצים (בעיקר מלווה בנייה ירוקה). להלן טבלה המרכזת רכיבים אלו:

מס' סידורי ¹²¹	מס' סעיף	שם סעיף	הרכיב הירוק	ניקוד
12	2.4	תופעת אי החום העירוני	ריצוף, גינון, מצעים, תקרת חניון ותחזוקת גינה	1.00
13	2.5	מירוב השימוש בקרקע	הקצאת שטח פתוח לטובת שימושים התומכים בקיימות	1.00
19	4.1	בחירת חומרים ומוצרים בעלי תו ירוק	בחירת חומרים ומוצרים בעלי תו ירוק	3.00
29	5.1	סנזור הנובע מתאורה פנימית וחיצונית	ג"ת בתאורת חוץ המונעים סנזור	0.25
37	8.1	הפרדה ואחסון של פסולת בניין הניתנת למחזור / לשימוש חוזר	הפרדת פסולת לסוגים	0.50
38	8.2	מחזור, שימוש חוזר וסילוק פסולת בניין ועודפי עפר	שימוש חוזר בפסולת באתר	0.25
40	8.4	בדיקות של מערכות הבניין לפני מסירה	בדיקת מערכות לפני מסירה	0.50
44	סה"כ			6.50

טבלה 5.3 – רכיבים ירוקים שניתן ליישם בבנייה קונבנציונלית ע"י מודעות וללא עלות נוספת

¹²¹ תואם את מס' סידורי בטבלה 4.4 - סיכום השוואת עלויות

ה. רכיבי גרעין ומעטפת (Core and Shell)

לעיתים מזמנות, יזם בונה מבני משרדים להשכרה, ומסתפק בבניית הגרעין והמעטפת בלבד וכל שוכר מתכנן את שטח הפנים שהוא מתכוון לשכור עפ"י צרכיו ותפיסתו. כיוון שכיום אין עדיין תקן ישראלי לבנייה ירוקה של גרעין ומעטפת במבני משרדים, יזם אינו יכול להסמך בניין שכזה כבניין ירוק.¹²² לאור חשיבות ודחיפות הנושא, והעבודה שהחלה במכון התקנים לכתיבת תקן שכזה, חשוב להבין אילו סעיפים בת"י 5281 הינם סעיפי גרעין ומעטפת, מהו הניקוד הניתן בהם ומהי עלותם. לכן, במסגרת המחקר בוצע ניתוח של הניקוד והעלות של סעיפי גרעין ומעטפת בבניין הירוק שבמחקר, ולהלן התוצאות בטבלה המסכמת את סעיפי גרעין ומעטפת בת"י 5281.

הערות לטבלה:

א. רקע אפור מציין סעיפים אשר לא יושמו בבניינים שבמחקר.

ב. בפרק 1.1 (ביצועים אנרגטיים של הבניין) קיימת הגבלה ואפשר לקבל בו מקסימום 21 נק' מתוך ה- 32 שבתתי הסעיפים. בפרק 4 (חומרים) קיימת הגבלה ואפשר לקבל בו מקסימום 8 נק' מתוך ה- 14 שבתתי הסעיפים. לכן סה"כ הניקוד האפשרי בסעיפי גרעין ומעטפת הינו (95.5). ראו עמודת "ניקוד מקסימלי אפשרי" ברקע ירוק.

ג. בפרק 1.2 (מערכות הבניין) סך הניקוד המפורט בסעיפים השונים מגיע ל- 26 נק' אך קיימת הגבלה ואפשר לקבל בו מקסימום 16 נק'. סך הניקוד בתתי הסעיפים אשר הינם רכיבי גרעין ומעטפת הוא 15.75 נק'. בנוסף אליהם, סך הניקוד בתתי הסעיפים שאינם גרעין ומעטפת (1.2.1, 1.2.5, 1.2.8) הוא 10.25 נק'. לכן, אם בניין מקבל ניקוד עבור מערכות שאינן גרעין ומעטפת (מערכת תאורה למשל), הוא לא יוכל לקבל את מלוא הניקוד עבור מערכות שהינן גרעין ומעטפת (ראו עמודת "ניקוד מקסימלי אפשרי" ברקע ירוק). לצורך חישוב ניקוד מקסימלי של סעיפי גרעין ומעטפת (עמודה שלישית בטבלה), ההנחה היא שמתקבלות בפרק זה 15.75 נק' עבור סעיפי גרעין ומעטפת.

ד. סעיפים 1.2.5 (אמצעים משניים למדידה ובקרה של אנרגיה), 1.2.8 (פתרונות למערכות מידע בעלות נצילות אנרגיה גבוהה), ו- 5.9 (אור טבעי ונוחות ויזואלית) לא נחשבו כסעיפי גרעין ומעטפת למרות שבמקרים מסוימים ייתכן ויהיו כאלו. הניקוד האפשרי עבורם הוא 1.5, 0.75 ו- 1 נק' בהתאמה.

¹²² ראיון אישי עם אדריכל יהונתן אלעזר

מס' סעיף	שם סעיף	ניקוד מקסימלי	ניקוד אפשרי	בניין הייחוס				בניין ירוק		הפרש עלויות	
				סה"כ עלות מקסימום	ניקוד מינימום	ניקוד מקסימום	סה"כ עלות מינימום	סה"כ עלות מקסימום	ניקוד מינימום	מינימום	מקסימום
1.1.1	תכנון ביו - אקלימי - חימום וקירור פסיביים	4	21	0	2	2	0	0	2	-	-
1.1.2	תכנון ביו-אקלימי - שמש וצל	7	21	0	1	1	0	0	2	-	-
1.1.3	דירוג אנרגטי לפי ת"י 5282 חלק 2	21	21	15,000	0	0	12,000	643,700	5	631,700	628,700
1.2.2	חימום מים	1	16								
1.2.3	אנרגייה מתחדשת באתר	2	16								
1.2.4	מפסק חיישן לחלונות נפתחים	0.75	16								
1.2.4.1	מערכות מיזוג אוויר מרכזיות	6	16								
1.2.4.4	מערכת חימום	1.5	16								
1.2.6	מערכת ניהול אנרגיה בבניין (BEMS)	3	16								
1.2.7.1	מעליות	0.75	16								
1.2.7.2	דרגנועים ומסועי לכת	0.75	16								
2.1	בחירת האתר	4	4	0	2.5	2.5	0	0	2.5	-	-
2.2	קרקעות ואתרים מזוהמים	1	1								
2.3	צפיפות הבנייה והפיתוח	3.5	3.5	0	3.5	3.5	0	0	3.5	-	-
2.4	תופעת אי החום העירוני	2	2	300,410	0	0	272,570	635,380	1	362,810	208,970
2.5	מירוב השימוש בקרקע	2	2	0	0	0	0	0	2	-	-
2.6	שימור אדמת חישוף וקרקע מקומית לשימוש חוזר	1	1								
2.7	אקולוגיית האתר	1	1	0	0	0	0	12,000	0.5	12,000	6,000
2.8	התאמת הבנייה לתבליט הטבעי ולתוואי השטח	0.5	0.5								
3.1	חיסכון בשימוש במים שפירים בבניין	2	2	0	2	2	0	0	2	-	-
3.2	אמצעי מידה משניים ואמצעי בקרה - מים	4	4	0	4	4	0	0	4	-	-
3.3	חיסכון במים שפירים להשקיה בגיטון	3	3	0	0	0	0	42,000	3	42,000	42,000
3.4	ניהול מי נגר עילי וניקוז	6	6	20,000	1.75	1.75	15,000	80,000	4	65,000	10,000
4.1	בחירת חומרים ומוצרים בעלי תו ירוק	6	8	0	0	0	0	0	3	-	-
4.2	חומרים ממוחזרים	5	8	0	2	2	0	0	2	-	-
4.3	חומרים ומוצרים מקומיים	1.5	8	0	1	1	0	0	1	-	-
4.4	חומרים ממקור אחראי	0.5	8								
4.5	הערכת מחזור חיים	1	8								
4.6	חומרים בשימוש חוזר	-	8								
5.1	תכנון ביו-אקלימי - רוח	1	1	0	0	0	0	0	0	-	-
5.2	אוויר נוחות	1.5	1.5								
5.3	אספקת אוויר צח ממקור נקי	1	1	0	0	0	0	0	0	-	-
5.4	איכות אוויר בתוך הבניין - פתרונות לאוויר מכני וסינון אוויר (תת סעיף 2)	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0	0	0.5	-	-
5.6	שליטה ברמת המשתמש - תאורה טבעית, בוחק וסינון - מערכות הצללה חיצוניות (תת סעיף ב)	1	1								
5.8	קשר עם החוץ (מבט לנוף)	0.5	0.5	0	0.5	0.5	0	0	0.5	-	-
5.1	סנור הנובע מתאורה חיצונית (תת סעיף ב)	0.25	0.25	0	0.25	0.25	0	0	0.25	-	-
5.11	רמות תאורה חיצונית (תת סעיף 2)	0.25	0.25	0	0.25	0.25	0	0	0.25	-	-
5.15	הגבלת תרכובות אורגניות נדיפות (VOC), תרכובות ברום (BFR) וקרינה רדיואקטיבית	0.5	0.5	0	0	0	0	20,000	0.5	20,000	10,000
5.16	קרינה אלקטרומגנטית וקרינה מיקרו-מגנטית	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
5.18	פליטת תחמוצות חנקן	0.25	0.25								
6.1	ניהול הפסולת המוצקה	2	2	0	2	2	0	0	2	-	-
7.1	נגישות לתחבורה ציבורית וחלופית	1.5	1.5	0	1.5	1.5	0	0	1.5	-	-
7.2	מתקנים וחנייה לאופניים	1	1								
7.3	מסלולים בטוחים עבור הולכי רגל ורוכבי אופניים	0.5	0.5								
8.1	הפרדה ואחסון של פסולת בניין הניתנת למחזור / לשימוש חוזר	1	1	0	0	0	0	0	0.5	-	-
8.2	מחזור, שימוש חוזר וסילוק פסולת בניין ועודפי עפר	1.75	1.75	0	1	1	0	0	1.25	-	-
8.3	מזעור השפעות אתר הבנייה	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
8.4	בדיקות של מערכות הבניין לפני מסירה	0.5	0.5	0	0	0	0	60,000	0.5	60,000	50,000
8.5	מדריך למשתמש בבניין	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-
8.6	שיתוף מחזיקי עניין	0.25	0.25								
8.7	מלווה בנייה בת קיימה (בנייה ירוקה)	1.5	1.5	0	0	0	0	150,000	1.5	150,000	50,000
9.1	שימוש בשיטות בנייה חדשניות	1	1								
9.2	שימוש בבניין ככלי למידה	1	1								
9.3	חדשנות	2	2								
סה"כ		95.5	-	335,410	29.25	35.75	299,570	1,643,080	50.5	1,343,510	1,005,670

טבלה 5.4 – סעיפי גרעין ומעטפת בת"י 5281

עפ"י הנחות הטבלה סך הניקוד המקסימלי האפשרי עבור סעיפי גרעין ומעטפת הינו 95.5 נק'. בבניין הייחוס התקבלו 29.25 – 35.75 נק' עבור רכיבי גרעין ומעטפת, מתוך סה"כ 34.25 – 40.75 נק' אשר התקבלו עבור כלל הרכיבים הירוקים בבניין. כלומר, כ- 87% מהניקוד התקבל עבור רכיבי גרעין ומעטפת.

בבניין הירוק התקבלו 50.5 נק' עבור רכיבי גרעין ומעטפת מתוך סה"כ 61.5 נק' אשר התקבלו עבור כלל הרכיבים הירוקים בבניין. כלומר כ- 82% מהניקוד התקבל עבור רכיבי גרעין ומעטפת. ההשקעה הנוספת ברכיבי גרעין ומעטפת בבניין הירוק בהשוואה לבניין הייחוס נאמדת בכ- 1 - 1.3 מיליון ₪, וזאת מתוך סה"כ השקעה נוספת של כ- 1.1 – 1.46 מיליון ₪. כלומר, כ- 91% מההשקעה הנוספת בבניין הירוק, בוצעה ברכיבי גרעין ומעטפת.

6. חיסכון

א. רקע

החיסכון הצפוי מבנייה ירוקה משמש תמריץ וטיועון משמעותי בעד כדאיותה של בנייה זו, אשר אמורה, בין יתר התועלות הצומחות ממנה, להביא לחסכון ישיר בהוצאות המשתמשים על צריכת אנרגיה ומים. מחקרים שבוצעו בחו"ל מצאו למשל שבניינים ירוקים חסכוניים ב 25% - 50% בצריכת האנרגיה שלהם בהשוואה לבניינים קונבנציונליים,¹²³ ורוב המחקרים מצאו שבנייה ירוקה מחזירה את ההשקעה הנוספת תוך פרק זמן קצר יחסית של שנים בודדות. חשוב לציין שבנוסף לחיסכון הישיר, מחקרים רבים מצאו שבנייה ירוקה משפיעה לחיוב באופן משמעותי על הקטנת תחלואה וימי היעדרות, הגברת פרודוקטיביות והעלאות שביעות רצון של העובדים / התלמידים / המשתמשים במבנה, בין היתר הודות לשפע תאורה טבעית ואיכות אוויר גבוהה. כיוון שערכה הכלכלי של הפעילות העסקית גדול בהרבה מעלויות הבנייה, התפעול והתחזוקה של מבנים,¹²⁴ ערכן הכלכלי של תועלות אלו צפוי להיות גבוה מעלויות הבנייה ומהחיסכון הישיר בהוצאות על אנרגיה ומים.¹²⁵ כך למשל, Kats et al 2008 מצאו ש- 50% מהבניינים הירוקים מחזירים את ההשקעה הנוספת ע"י חיסכון ישיר באנרגיה ומים תוך 5 שנים, אך אם מפנימים גם את התועלות משיפורים בבריאות ובפרודוקטיביות של עובדים, אזי 90% מהבניינים מחזירים את ההשקעה תוך 5 שנים.¹²⁶ בנוסף לחיסכון הישיר באנרגיה ומים, העלאת הפרודוקטיביות והקטנת התחלואה, לבנייה ירוקה יש תועלות חיצוניות ועקיפות נוספות רבות ובניהן: הקטנת עלויות סביבתיות חיצוניות של זיהום אוויר ופליטת גזי חממה כתוצאה מחיסכון בחשמל ומים וכריית אגרגטים, הקטנת השקעה בתשתיות הפקה והולכה של חשמל ומים הודות לחיסכון בתשומות אלו, הקטנת פגיעה בשטחים פתוחים עקב צמצום תשתיות חשמל ומים, הגדלת החוסן והעצמאות האנרגטית של ישראל ועוד. היות ומתועלות אלו נהנית החברה כולה ולא רק המשתמשים במבנה, סביר שערך הכלכלי יהיה גדול לאין שיעור מערך התועלות של המשתמשים במבנה.¹²⁷ לכן, החיסכון הישיר הצפוי בחשמל ומים המפורט להלן, הינו רק חלק קטן מהחיסכון והתועלות הכלכליות הטמונים בבנייה ירוקה.

ב. חסכון באנרגיה

הערכת החיסכון הצפוי בחשמל התבססה על מידול ממוחשב אשר בעזרתו בוצעה השוואה בצריכה הצפויה בין הבניין הירוק לבניין הייחוס. המידול נעשה בעזרת תוכנת Energy Plus V7.2 דרך ממשק Design Builder ע"י מיכאל לוי - מומחה לייעוץ אנרגטי לבנייה ירוקה. החישובים נעשו לפי בדיקה תפקודית ומבוססים על ת"י 5282 חלק 2 (דירוג

¹²³ Kats 2003 and Fulbrook et al 2006 cited in WGBC 2013, [The Business Case for Green Building](#), p. 51

¹²⁴ " 2009 Harmann 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). " מתוך: קוט חגי ו"ץ דוד, 2013, [עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל](#), המועצה הישראלית לבנייה ירוקה, ע"מ 17

¹²⁵ להרחבה על ממצאי מחקרים בנוגע לתועלות של בנייה ירוקה בארץ ובעולם ראו למשל:

- קוט חגי ו"ץ דוד, 2013, [עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל](#), המועצה הישראלית לבנייה ירוקה, ע"מ 16-25
- המועצה לבנייה ירוקה, 2014, [עלויות ותועלות של בנייה ירוקה בישראל ובעולם](#)
- WGBC 2013, [The Business Case for Green Building](#)

¹²⁶ Kats, G, James M, Apfelbaum S, Darden T, Farr D, Fox R. 2008. Greening buildings and communities: costs and benefits. Capital E

¹²⁷ קוט חגי ו"ץ דוד, 2013, [עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל](#), המועצה הישראלית לבנייה ירוקה

בניינים לפי צריכת אנרגיה: בנייני משרדים). אולם, בעוד ת"י 5282 מחייב לבצע את הבדיקה התפקודית תחת הנחות מחמירות, ההנחות העומדות בבסיס חישובי החיסכון הינן מעט שונות, וזאת בכדי להתאים את חישובי החיסכון לנתוני התכנון האמיתיים של הבניינים. ההנחות לבדיקה התפקודית מפורטות בפרק 8 נספח ג, ולהלן עיקר השינויים שנערכו בהן, לצורך ביצוע חישובי החיסכון:

נושא	בניין הייחוס	הבניין הירוק
פרופילי הצללה חיצוניים של 0.2 מ' בחזית הדרומית	אין	יש
הקטנת החלונות ב-30% במזרח ומערב	אין	יש
תאורה חשמלית ב- וואט למ"ר	08:00-20:00	9.8
	20:00-08:00	0.8
בקרת תאורה 1 ON/OFF	אין	אין
בקרת תאורה עם דימר	אין	יש
מקדם יעילות מיזוג אוויר COP	2.8	2.8

טבלה 6.1 - עיקר השינויים בהנחות לצורך חישובי החיסכון ביחס לבדיקה התפקודית בת"י 5282

החישובים מבוצעים עבור שנה אקלימית טיפוסית בהתאם למיקום הבניין. נתוני השנה האקלימית של המיקום כוללים את השינויים מדי שעה של טמפרטורת האוויר, הקרינה הסולארית הישירה והמפוזרת על משטח אופקי, לחות האוויר ומהירות הרוח. בחישוב צריכת האנרגיה השנתית הצפויה, נלקחים בחשבון האלמנטים של מעטפת המבנה כגון: תכונות הבידוד התרמי והמסה התרמית, גוון קירות חוץ וגג, תכונות החלונות, אמצעי ההצללה ורמת האטימות לאוויר של חלונות ודלתות.

ההנחה היא כי בנושאים אחרים כגון צריכת החשמל של מכשירים, מס' אנשים, שעות פעילות וכד', שני הבניינים זהים ולכן תוצאות החיסכון להלן מתרכזות בצריכת חשמל לתאורה, חימום וקירור בלבד. הסימולציה אינה מתחשבת בכך שבבניין הירוק מותקנים חיישני פד"ח (ראו סעיף 5.4 בפרק 4), אשר תורמים לחיסכון של מערכת מיזוג אוויר, בכך שהם חוסכים החלפות אוויר אשר צורכות אנרגיה רבה, ומבחינה זו מדובר בהערכת חסר. להלן החיסכון הצפוי בבניין הירוק בהשוואה לבניין הייחוס (ב- 18 קומות טיפוסיות) לשנה:

רכיב החיסכון	חיסכון הבניין הירוק בהשוואה לבניין הייחוס	חיסכון הבניין הירוק בהשוואה לבניין הייחוס בקוט"ש לשנה מלאה	חיסכון הבניין הירוק בהשוואה לבניין הייחוס בקוט"ש לשנת עבודה	חיסכון הבניין הירוק בהשוואה לבניין הייחוס בש"ח לשנת עבודה
תאורה	62.9%	577,759	395,725	223,661
חימום	-234.5%	-2,498	-1,711	-967
קירור	28.1%	209,235	143,311	80,998
סה"כ	47.2%	784,496	537,326	303,692

טבלה 6.2 - החיסכון הצפוי בהוצאות האנרגיה בבניין הירוק בהשוואה לבניין הייחוס

התוצאות מראות שהבניין הירוק חסכוני בכ- 63% בצריכת האנרגיה לתאורה, ובכ- 28% בצריכת האנרגיה לקירור. עם זאת, עקב הקטנת החלונות ועומס התאורה הוא צורך יותר מפי-2 אנרגיה לחימום מאשר בניין הייחוס, אך הגידול בצריכת האנרגיה לחימום, הינה זניחה ונאמדת בפחות מ-1,000 ש"ח לשנה. בסה"כ בצריכת החשמל לתאורה, חימום וקירור, הבניין הירוק חסכוני בכ- 47% לעומת בניין הייחוס. החיסכון האנרגטי נובע מהגורמים הבאים:

- תכנון מושכל של מערכת התאורה אשר הביא לעומס תאורה נמוך של 9.8 וואט למ"ר.
- שימוש בבקרת תאורה עם דימר.
- הקטנת החלונות במעטפת הבניין במזרח ובמערב.

התוצאות בעמודה השלישית בטבלה 6.2 הינן תחת הנחה שהבניין מאויש ועובד 365 ימים בשנה. במקרים מסוימים, כמו למשל חברות הנותנות שירותי תמיכה גלובליים ללקוחות בכל העולם, הנחה זו יכולה להיות נכונה. אולם, סביר שרוב בנייני המשרדים לא יהיו מאוישים (או יהיו מאוישים באופן חלקי ביותר) בימי שישי, שבת, ערבי חג וחג. לכן מערכות תאורה ומיזוג אוויר לא יעבדו (או יעבדו באופן מזערי) בימים אלו בשני הבניינים ומכאן שהחיסכון יהיה קטן יותר. בהנחה שבשנה יש כ- 250 ימי עבודה בלבד החיסכון הצפוי יהיה קטן יותר פי $0.685 = 250/365$, ומובא בעמודה הרביעית.

בהנחה שבניין משרדים בסדר גודל בינוני-גדול מחויב לתעריף תע"ז,¹²⁸ הרי שמחיר הקוט"ש משתנה בין שעות היממה, ימי השבוע ועונות השנה. כיוון שלא נמצאו נתוני אמת אודות הוצאות חשמל ותעריף לקוט"ש ממוצע של מבני משרדים, יש להעריך תעריף קוט"ש שנתי ממוצע. לשם כך, בוצע חישוב אשר שיקלל את שעות פעילות הבניין בהתאם למחירים השונים בתעריף תע"ז. ההנחות לחישוב מחיר קוט"ש ממוצע הינן:

- מתח האספקה לבניין הינו מתח גבוה.¹²⁹
- שעות הפעילות בבניין הינן 08:00 - 20:00 במשך 5 ימים בשבוע (ימים א'-ה' ללא התחשבות בחגים).

תחת ההנחות הנ"ל מחיר לקוט"ש ממוצע לשנה הינו 56.52 אג' והחיסכון הכספי מפורט בעמודה החמישית בטבלה 6.2. מכאן שהחיסכון הכספי המשוער בגין חיסכון בהוצאות חשמל לתאורה חימום וקירור בבניין הירוק בהשוואה לבניין הייחוס הינו 303,692 ש"ח לשנה.

חשוב לציין שהחיסכון, בעיקר בתאורה (אך גם במיזוג אוויר), הינו חיסכון פוטנציאלי ותלוי בין היתר ב:

- תכנון נכון בנושא אור טבעי ונחוות ויזואלית (סעיף 5.9 בת"י 5281) – ללא תכנון נכון של הבניין ייתכן למשל שהעובדים יסנוורו מאור טבעי. כתוצאה מכך הם יעזרו במערכות הצללה פנימיות (וילונות, תריסים) כדי למנוע מאור השמש להיכנס, ויסתמכו על תאורה מלאכותית.¹³⁰
- התנהגות של המשתמשים בבניין – כמו למשל פתיחת חלונות לאוורור, אופן השימוש במיזוג אוויר וכד'.

¹²⁸ חברת חשמל לישראל (חח"י), [תעריפים בתוקף מ-16.5.13](#), אתר האינטרנט של חח"י

¹²⁹ ראיון אישי עם המהנדס רפי אהרונ. לפרוט המחרים בתעריף תע"ז במתח גבוה ראו: חח"י 2013, [מחירי תע"ז במתח גבוה](#), אתר חח"י

¹³⁰ ראיון אישי עם אדריכל ד"ר ערן קפטן - מומחה לתאורה טבעית וחיסכון אנרגטי במבנים, מייסד ומנכ"ל משרד Research & EcoDesign, המתמחה ביעילות אנרגטית וקיימות במבנים

בהנחה של מחירי חשמל קבועים, ¹³¹ מחיר קוט"ש של 56.52 אג', ושער היוון של 3%, ההשקעה הנוספת בבניין הירוק (ללא פיתוח נופי) הנאמדת בכ- 898,540 - 1,086,540 ₪, תחזיר את עצמה הודות לחיסכון בחשמל בלבד בתוך 3 - 4 שנים.

ג. חסכון במים

בבניין הייחוס מיושמת גינה בדומה ל"גינת הייחוס" המפורטת בנספח ג' לת"י 5281, ואשר צריכתה השנתית נאמדת בכ- 497 מ"ק לדונם. היות ושטח הגינה בבניין הייחוס הינו כ- 290 מ"ר בלבד, צריכת המים השנתית נאמדת בכ- 144 מ"ק. בבניין הירוק מיושמת גינה חסכונית במים בדומה ל"גינה משופרת" המפורטת בנספח ג' לת"י 5281. ¹³² כמו כן מיושמת מערכת פשוטה יחסית לאיסוף מי עיבוי מזגנים אשר מספקת את כל צרכי ההשקיה של הגינה וחוסכת למעשה את כל מי ההשקיה (ראו סעיף 3.3 בפרק 5).

לכן, החיסכון במים להשקיה בבניין הירוק לעומת בניין הייחוס הינו 144 מ"ק לשנה, ועפ"י תעריף של 12.1 ₪ למ"ק ¹³³ מדובר בחיסכון שנתי של 1,742 ₪ לשנה. בהנחה של מחירי מים קבועים, ¹³⁴ מחיר מ"ק של 12.1 ₪, ושער היוון של 3%, החיסכון במי ההשקיה לגינה לתקופה של 30 שנה נאמד בכ- 35,000 ₪ וזאת לעומת עלות המערכת לאיסוף מי עיבוי מזגנים אשר נאמדת בכ- 42,000 ₪. כלומר, ההשקעה במערכת לאיסוף מי עיבוי מזגנים המיועדת לאספקת מי ההשקיה של הגינה בלבד, אינה כדאית מבחינה כלכלית, וזאת כיוון שצריכת המים להשקיית הגינה בבניין הייחוס (כלומר פוטנציאל החיסכון במים להשקיית הגינה של הבניין הירוק בהשוואה לבניין הייחוס), הינה קטנה ביחס לעלות המערכת.

חשוב לציין שבבניין הירוק פוטנציאל איסוף מי עיבוי המזגנים גדול בהרבה מצריכת המים של הגינה. עפ"י הערכה גסה וניסיון מיישום מערכת משוכללת יחסית לאיסוף מי עיבוי מזגנים לשם הדחת אסלות בבניין אלקטרה, ¹³⁵ פוטנציאל איסוף המים ממזגנים ומערכות אוויר צח בבניין הירוק מגיע לכ- 1,500 מ"ק בשנה (כ- 6 מ"ק ליום עבודה בממוצע). כמות שכזו יכולה לחסוך את סך הדחת האסלות של כ- 200 עובדים בבניין, ובמונחים כספיים היא תחסוך כ- 18,000 ₪ בשנה. עלות מערכת שכזו לבניין הירוק מוערכת בכ- 90,000 ₪ (לא כולל עלות מאגר לקליטת המים ותשתיות). כלומר, תחת הנחות של מחירי מים קבועים, מחיר מ"ק של 12.1 ₪, ושער היוון של 3%, ההשקעה במערכת לאיסוף מי עיבוי מזגנים לשם הדחת אסלות, תחזיר את עצמה בתוך 7-9 שנים בלבד. אך כיוון שהתקן במתכונתו הנוכחית אינו מתגמל מערכת האוספת את מי העיבוי לשימושים נוספים פרט להשקיית גינה (למשל לצורך הדחת אסלות, וזאת למרות החיסכון המשמעותי ממערכת שכזו), סביר שיזם לא יישם מערכת שכזו בבניין בדרגת

¹³¹ מראיון אישי עם ד"ר שחר דולב, מנהל תחום המחקר בפורום הישראלי לאנרגיה, לגבי מחירו העתידי של חשמל, עולה שקיימות תחזיות סותרות המעידות על שינויים משמעותיים במשק החשמל, הצפויים להתרחש בישראל ובעולם בטווח הזמן הקצר - ארוך. כיוון שהדלקים הפוסיליים לייצור חשמל הולכים ואוזלים, סביר שמחירי החשמל יעלו. מנגד, לאור כניסת גז פצלים לשוק הפקת החשמל, ייתכן שמחירי החשמל דווקא ירדו. להרחבה ראו: דולב וחובריו 2013, [אפס פליטות חשמל בישראל](#), הפורום הישראלי לאנרגיה ע"מ 67

לכן, חישוב החיסכון הצפוי מתבסס על מחירי חשמל ריאליים קבועים, והקורא יכול לבצע חישובים בהתאם להנחותיו הוא דרורי דפנה ושביב עדנה, נספח ג' לת"י 5281, מכון התקנים הישראלי, ע"מ 59

¹³² זהו התעריף הגבוהה לצרכני תאגידי מים וביוב והוא כולל אגרת ביוב. במידה והבניין הינו צרכן גדול הצורך יותר מ 15,000 מ"ק בשנה, אזי התעריף הינו 11.2 ₪ למ"ק בלבד. להרחבה ראו: רשות המים אוגוסט 2014, [ספר תעריפי המים והביוב](#)

¹³³ (1.7.14), ע"מ 11

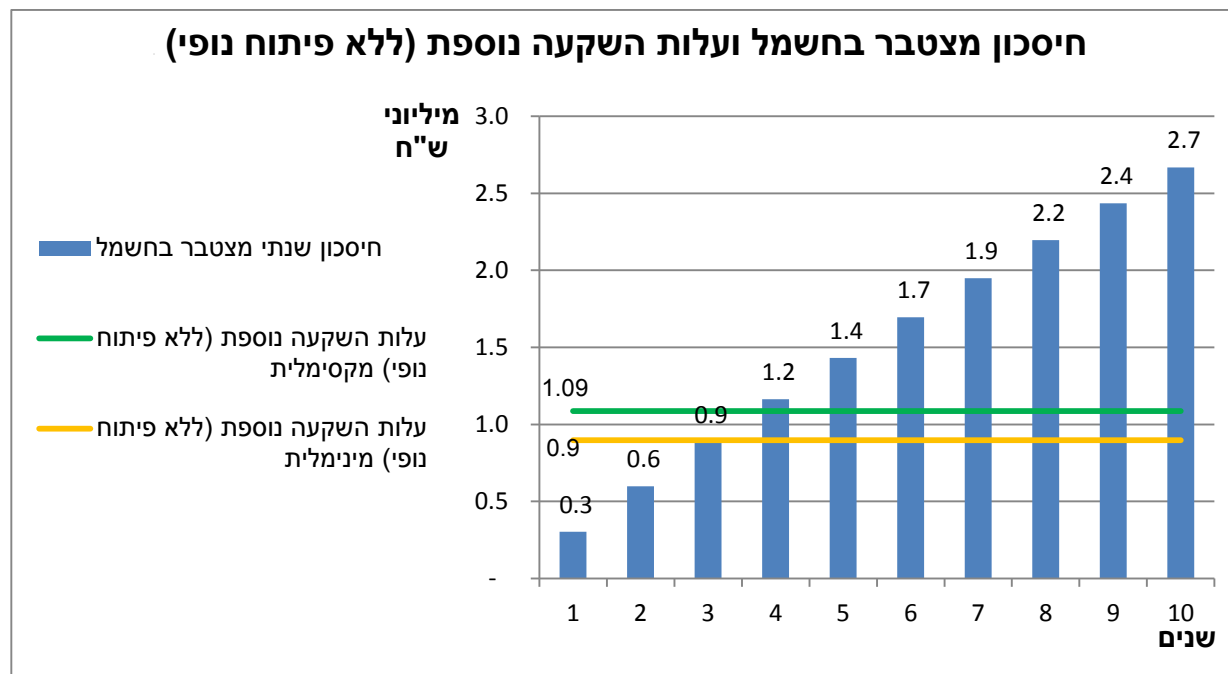
¹³⁴ לנוכח שינויים במחירי האנרגיה העולמיים ובישראל, ושינויים במשק המים בישראל קשה להעריך את המחיר העתידי של מים. לכן, חישוב החיסכון הצפוי מתבסס על מחירי מים ריאליים קבועים, והקוראים יכולים לבצע חישובים בהתאם להנחותיהם

¹³⁵ ראיון אישי עם ליאור אקנין מנכ"ל חברת אקוסיסטמס

הסמכה בסיסית, כיוון שעלותה גבוהה באופן משמעותי מהמערכת הפשוטה יותר, המספקת את צרכי השקיית הגינה בלבד ומתוגמלת בניקוד.

ד. סיכום

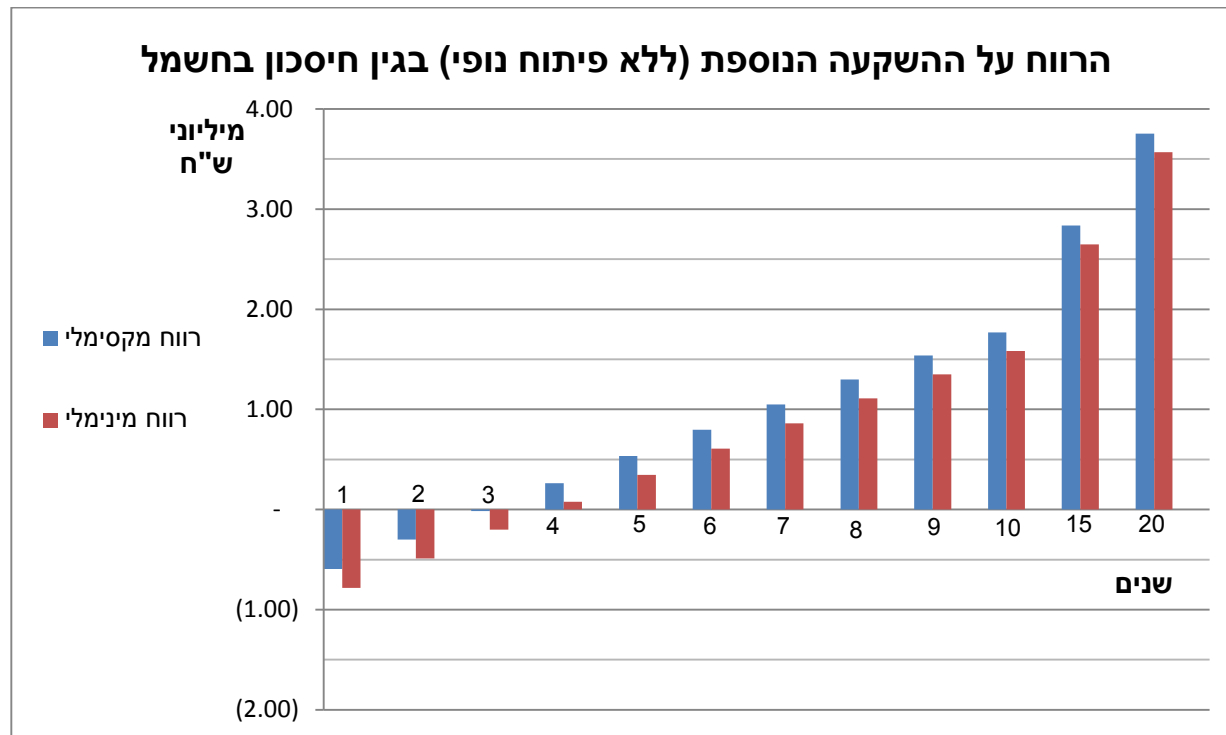
הבניין הירוק חסכוני בכ- 63% בצריכת האנרגיה לתאורה, ובכ- 28% בצריכת האנרגיה לקירור. בסה"כ בצריכת החשמל לתאורה, חימום וקירור, הבניין הירוק חסכוני בכ- 47% השווים לכ- 304,000 ₪ לשנה לעומת בניין הייחוס. בהנחה של מחירי חשמל קבועים, מחיר קוט"ש של 56.52 אג', שנה בת 250 ימי עבודה, ושער היוון של 3%, ההשקעה הנוספת בבניין הירוק (ללא פיתוח נופי) הנאמדת בכ- 898,540 - 1,086,540 ₪, תחזיר את עצמה הודות לחיסכון בחשמל בתוך 3 – 4 שנים בלבד.¹³⁶ התשואה השנתית הממוצעת (לתקופה של 10 שנים) על ההשקעה הנוספת (ללא פיתוח נופי) הינה 25% - 30% והחיסכון המצטבר לאחר 10 שנים נאמד בכ- 2.7 מיליון ₪.



איור 6.1 – חיסכון מצטבר בחשמל ועלות השקעה נוספת (ללא פיתוח נופי) בבניין הירוק

הרווח על ההשקעה (החיסכון המצטבר בחשמל בניכוי ההשקעה הנוספת ללא פיתוח נופי), מגיע לכ- 1.6 – 1.8 מיליון ₪ לאחר 10 שנים, ולכ- 3.6 – 3.8 לאחר 20 שנה.

¹³⁶ כלומר, ה ROI (Return on investment) הופך לחיובי לאחר 3 - 4 שנים בלבד



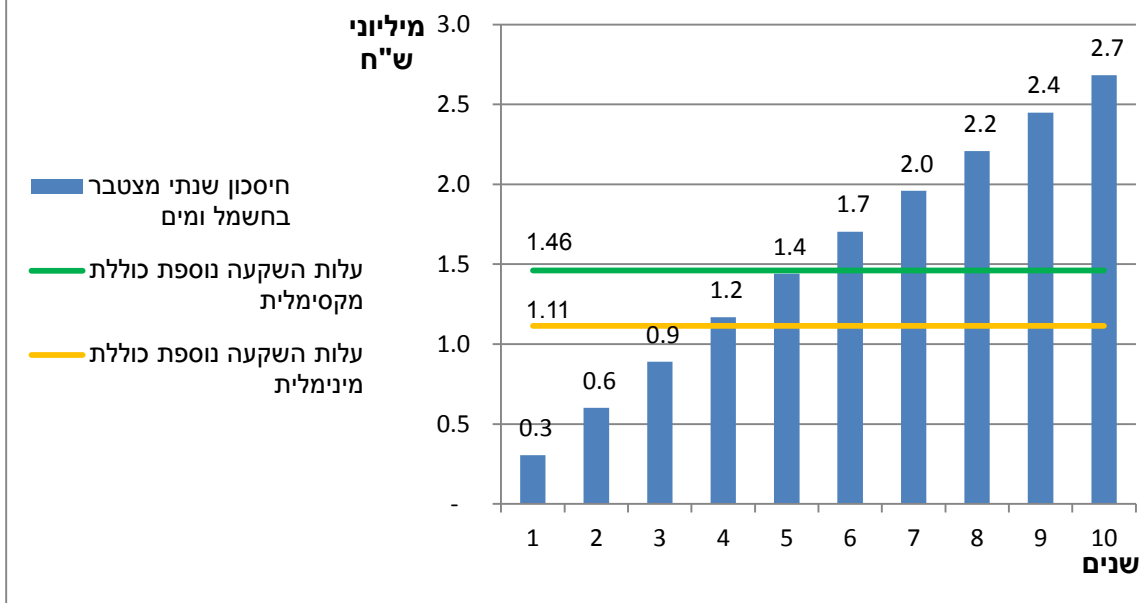
איור 6.2 – הרווח על ההשקעה הנוספת (ללא פיתוח נופי) בגין חיסכון בחשמל בבניין הירוק

החיסכון במים בבניין הירוק לעומת בניין הייחוס מתבסס על מערכת פשוטה יחסית לאיסוף מי עיבוי מזגנים להשקיית הגינה בלבד, ונאמד בכ- 144 מ"ק לשנה. עפ"י תעריף של 12.1 ₪ למ"ק מדובר בחיסכון שנתי של 1,742 ₪ לשנה. חיסכון זה אינו מחזיר את עלות מערכת איסוף מי עיבוי המזגנים הנאמדת בכ- 42,000 ₪ גם לאחר 30 שנה. עם זאת, במידה והתקן היה מתגמל מערכת משוכללת יותר לאיסוף מי עיבוי מזגנים לצרכים נוספים פרט לגינה (למשל להדחת אסלות), סביר להניח שבבניינים ירוקים ובמיוחד בדרגות הסמכה גבוהות יותר, יזמים היו מיישמים מערכת שכזו. זאת כיוון שלמרות שמערכת משוכללת יותר עולה פי 2 (לא כולל עלות מאגר לקליטת המים ותשתיות) מהמערכת הפשוטה, היא חוסכת פי 10 וצפויה להחזיר את ההשקעה בתוך 7 – 9 שנים בלבד.

לסיכום, החיסכון השנתי בחשמל (לתאורה, חימום וקירור) ומים נאמד בכ- 305,434 ₪ בשנה. תחת הנחות של מחירי חשמל ומים קבועים ושער הירון של 3%, ההשקעה הנוספת הכוללת בבניין הירוק הנאמדת בכ- 1,113,510 – 1,461,350 ₪, תחזיר את עצמה הודות לחיסכון בחשמל ומים בתוך 4 – 5 שנים בלבד.¹³⁷ התשואה השנתית הממוצעת (לתקופה של 10 שנים) על ההשקעה הנוספת הכוללת הינה 18% - 24% והחיסכון המצטבר לאחר 10 שנים נאמד בכ- 2.7 מיליון ₪.

¹³⁷ כלומר, ה ROI (Return on investment) הופך לחיובי לאחר 4 - 5 שנים בלבד

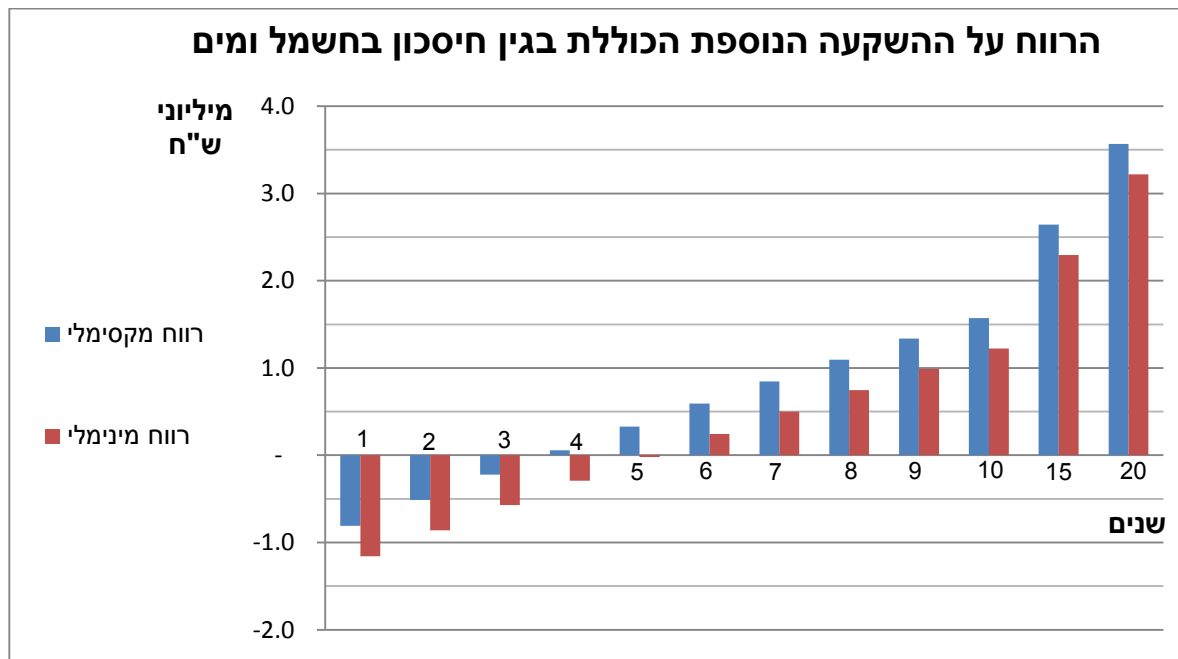
חיסכון מצטבר בחשמל ומים ועלות השקעה נוספת



איור 6.3 – חיסכון מצטבר בחשמל ומים ועלות השקעה נוספת בבניין הירוק

הרווח על ההשקעה (החיסכון המצטבר בניכוי ההשקעה הנוספת הכוללת), מגיע לכ- 1.2 – 1.6 מיליון ₪ לאחר 10 שנים, ולכ- 3.2 – 3.6 מיליון ₪ לאחר 20 שנה.

הרווח על ההשקעה הנוספת הכוללת בגין חיסכון בחשמל ומים



איור 6.4 – הרווח על ההשקעה הנוספת הכוללת בגין חיסכון בחשמל ומים בבניין הירוק

ביחס לממצאי מחקרים אשר בוצעו בעולם, אחוז החיסכון בחשמל (47%) הינו בטווח העליון של הממצאים העולמיים (25% - 50%). תקופת החזר ההשקעה (3 - 4 שנים ללא פיתוח נופי ו- 4-5 שנים להשקעה הכוללת), תואמת את הממצאים העולמיים, אשר מצאו שתקופת החזר ההשקעה עומדת על שנים בודדות בלבד.

יש לזכור שהחיסכון הצפוי מתפעול ותחזוקת בניינים ירוקים היא בין היתר גם תוצאה של גורמים שאינם תלויים בתכונות הפיזיות של הבניינים עצמם כמו למשל:

- מחירי מוצרים ושירותים כמו חשמל, גז ומים - קיימת שונות גדולה בין מחירי אנרגיה ומים ממדינה למדינה, אשר נובעת ממשתנים כגון סוגי דלק, מרחק ממקורות אנרגיה ומים, תנאי אקלים, תנאים גיאופוליטיים ומיסוי ממשלתי.
- תמריצים ממשלתיים ברמה הלאומית והמקומית.
- תנאי אקלים והתנהגות המשתמשים במבנה אשר יכולים להשתנות ממדינה למדינה.

לאור הנ"ל, למרות שקיימת כדאיות כלכלית משמעותית מתפעול ותחזוקה של בניינים ירוקים, במיוחד מבחינת הוצאות על צריכת אנרגיה, קיים קושי להסיק מסקנות לגבי רמת הכדאיות הכלכלית עבור מדינה מסוימת, ממחקר שנערך במדינה אחרת,¹³⁸ ויש לערוך מחקרים אשר יתמקדו בחיסכון הצפוי ובחיסכון בפועל במבנים ירוקים בישראל, וישוו אותם לממצאים העולמיים בהתייחס בין היתר למתודולוגיות של המחקרים, רמות מחירי אנרגיה ועוד.

¹³⁸ קוט חגי וכ"ץ דוד, 2013, עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה, ע"מ 25

7. סיכום ומסקנות

עלויות כלליות ועלויות רכיבים עיקריים

מהממצאים עולה כי הבניין הירוק, במידה והיה נבחן באמצעות ת"י 5281, צפוי לקבל 61.5 נק'. בניין הייחוס אף הוא צפוי לקבל לפחות 34.25 נק' בגין רכיבי בנייה ירוקים, אשר נהוג ליישם ממילא בבנייני משרדים בבנייה קונבנציונלית. כמו כן, עולה כי קיימים רכיבי בנייה ירוקים נוספים, אשר ניתן בעזרת מודעות ותשומת לב, ליישם בבניין הייחוס ללא עלות נוספת (פרט לעלות יועצים בעיקר מלווה בנייה ירוקה). רכיבים אלו מזכים בעוד 6.5 נק', וכך בניין הייחוס יכול לקבל 40.75 נק'.

עלות ההשקעה הנוספת בבניין הירוק לעומת בניין הייחוס מפורטת בטבלה הבאה:

השקעה נוספת בבניין הירוק לעומת בניין הייחוס	
השקעה נוספת כוללת ¹³⁹	1.1 – 1.5 מיליון ₪
השקעה נוספת ללא פיתוח נופי	0.9 – 1.1 מיליון ₪
השקעה נוספת למ"ר בנוי	48 – 58 ₪
עלות ההשקעה הנוספת ביחס לעלות בנייה קונבנציונלית ¹⁴⁰	1.1% - 1.3%

אחוז עלות ההשקעה הנוספת ביחס לעלות בנייה קונבנציונלית, תואם את הממצאים ממחקרים מחו"ל ומישראל אשר מצאו שבממוצע תוספת העלות של בנייה ירוקה הינה בין 0% - 3% בלבד.¹⁴¹

הרכיבים בהם ההשקעה הנוספת הינה משמעותית הינם:

הרכיב	עלות ההשקעה הנוספת בש"ח	עלות ההשקעה הנוספת מסך ההשקעה הנוספת המקסימלית הכוללת
פרופילי הצללה בחזית הדרומית	446,000	31%
הקטנת חשיפה במזרח ומערב ע"י קופסת צל	178,000	12%
פיתוח נופי	363,000	25%
סך רכיבי אנרגיה (עפ"י ת"י 5281)	638,000	44%

¹³⁹ הערכה זו כוללת את ההשקעה הנוספת ב- 18 הקומות הטיפוסיות ובפיתוח הנופי, ואינה כוללת את ההשקעה הנוספת בלובי הכניסה ובקומה הטכנית, וזאת מתוך הנחה שבשני הבניינים קומות אלו הינן זהות או דומות.

¹⁴⁰ עפ"י נתוני מחירון דקל, המעריך עלות בניית מ"ר משרדים בכ- 4,500 ₪. ראו: מחירון דקל מרץ 2014, מאגר מחירי בנייה ותשתיות, ע"מ 716

¹⁴¹ להרחבה על מחקרים בחו"ל ראו קוט חגי וכ"ץ דוד, 2013, עלויות בנייה ירוקה בבנייני מגורים בישראל, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה, פרק סקירת הספרות להרחבה על מחקרים בארץ ראו: נגה לבציון נדן, 2014, עלויות בנייה ירוקה, עבור המשרד להגנת הסביבה

שני הרכיבים הראשונים בטבלה מטרם לשפר את הביצועים האנרגטיים של הבניין הירוק כדי שיגיע לדירוג אנרגטי ברמה C עפ"י 5282 (כמתחייב בסעיף 1.1.3), ומהווים יחד 43% מסך ההשקעה הנוספת הכוללת.

נתון מעניין נוסף הוא, שלמרות שעלות מערכות התאורה בשני הבניינים כמעט וזהה, הודות למודעות ותכנון מושכל של המערכת בבניין הירוק, מיושמת בו מערכת תאורה חסכונית וחכמה עם עומס תאורה הקטן בכ- 23% מעומס התאורה של המערכת בבניין הייחוס (עומס התאורה ביחידות של וואט למ"ר, להרחבה ראו סעיף 1.2.1 בפרק 4). מערכת זו צפויה לחסוך כ- 63% מהוצאות החשמל על תאורה, כלומר כ- 224,000 ₪ בשנה.

רכיבי גרעין ומעטפת (Core and Shell)

להלן הניקוד שהתקבל בבניין הירוק עבור רכיבי גרעין ומעטפת ועלותם:

ניקוד	רכיבי גרעין ומעטפת	כאחוז מסך הניקוד / ההשקעה הנוספת
ניקוד	50.5 נק' (מתוך 61.5 נק')	82%
עלות ההשקעה הנוספת	1 - 1.3 מיליון ₪ (מתוך 1.1 - 1.5 מיליון ₪)	91%

חיסכון

בצריכת החשמל לתאורה, חימום וקירור, הבניין הירוק חסכוני בכ- 47% לעומת בניין הייחוס. חיסכון זה שווה ערך לכ- 304,000 ₪ בשנה. בהנחה של מחירי חשמל קבועים, מחיר קוט"ש של 56.52 אג', ושער היוון של 3%, ההשקעה הנוספת בבניין הירוק (ללא פיתוח נופי) הנאמדת בכ- 0.9 – 1.1 מיליון ₪, תחזיר את עצמה הודות לחיסכון בחשמל בתוך 3 – 4 שנים בלבד. התשואה השנתית הממוצעת (לתקופה של 10 שנים) על ההשקעה הנוספת (ללא פיתוח נופי) הינה 25% - 30% והחיסכון המצטבר לאחר 10 שנים נאמד בכ- 2.7 מיליון ₪. הרווח על ההשקעה (החיסכון המצטבר בחשמל בניכוי ההשקעה הנוספת ללא פיתוח נופי), מגיע לכ- 1.6 – 1.8 מיליון ₪ לאחר 10 שנים, ולכ- 3.6 – 3.8 לאחר 20 שנה.

החיסכון במים בבניין הירוק לעומת בניין הייחוס הינו שולי ומוערך בכ- 144 מ"ק לשנה, ועפ"י תעריף של 12.1 ₪ למ"ק מדובר בחיסכון שנתי של 1,742 ₪ לשנה.

סה"כ החיסכון בחשמל ומים לשנה נאמד בכ- 305,000 ₪ בשנה, ותחת הנחות של מחירי חשמל ומים קבועים ושער היוון של 3%, ההשקעה הנוספת הכוללת בבניין הירוק הנאמדת בכ- 1.1 – 1.5 מיליון ₪, תחזיר את עצמה הודות לחיסכון בחשמל ומים בתוך 4 – 5 שנים בלבד. התשואה השנתית הממוצעת (לתקופה של 10 שנים) על ההשקעה הנוספת הכוללת הינה 18% - 24% והחיסכון המצטבר לאחר 10 שנים נאמד בכ- 2.7 מיליון ₪. הרווח על ההשקעה (החיסכון המצטבר בניכוי ההשקעה הנוספת הכוללת), מגיע לכ- 1.2 – 1.6 מיליון ₪ לאחר 10 שנים, ולכ- 3.2 – 3.6 מיליון ₪ לאחר 20 שנה.

ביחס לממצאי מחקרים אשר בוצעו בעולם, אחוז החיסכון בחשמל (47%) הינו בטווח העליון של הממצאים העולמיים (25% - 50%). תקופת החזר ההשקעה (3 - 4 שנים ללא פיתוח נופי ו- 4 - 5 שנים להשקעה הכוללת), תואמת את הממצאים העולמיים, אשר מצאו שתקופת החזר ההשקעה עומדת על שנים בודדות בלבד.

מסקנות עיקריות

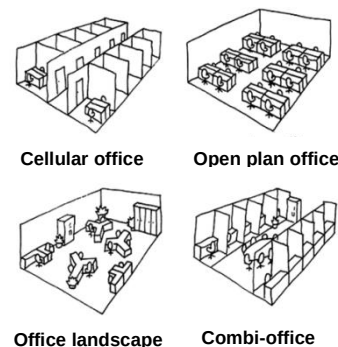
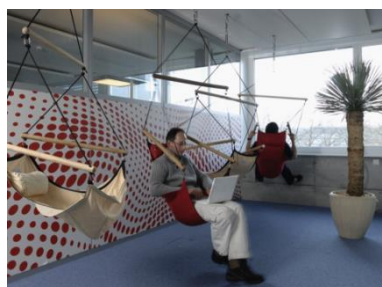
1. לאור התשואה הגבוהה על ההשקעה הנוספת בגין בנייה ירוקה וההחזר המהיר שלה, על גופי הממשל השונים ברמה הארצית (משרד האוצר, משרד הבינוי והשיכון, משרד הגנת הסביבה, מנהל הרכש הממשלתי, ועוד) והמקומית לפעול במרץ לקידום מבני משרדים ירוקים הן במגזר העסקי והן במגזר הציבורי.
2. כיוון שלעיתים מזומנות, יזם בונה מבני משרדים להשכרה ומסתפק בבניית הגרעין והמעטפת של הבניין בלבד, קיימת חשיבות ודחיפות רבה לכתיבתו של ת"י לבנייה ירוקה של גרעין ומעטפת במבני משרדים.
3. מהמחקר עולה שניתן לאסוף כמות משמעותית של מי עיבוי מזגנים במבני משרדים, כמות אשר עולה על צרכי ההשקיה של הגינה. על מנת לעודד יזמים לממש את פוטנציאל החיסכון במים, מומלץ לתגמל שימוש במי עיבוי מזגנים לצרכים נוספים מעבר להשקיית הגינה, ע"י ניקוד ראוי בת"י 5281.

8. נספחים

א. תכנון אקלימי אינטגרטיבי של מבני משרדים באקלים ים תיכוני¹⁴²

בניגוד להיסטוריה עשירה של שימוש בכלים אקלימיים ליצירת שפה אדריכלית מקומית, תכנון מבני המשרדים בישראל כיום מאופיין במבנים בעלי אחוז זיגוג גבוה ותלות כמעט מוחלטת במערכות מכניות לאספקת נוחות תרמית וויזואלית. מעבר לגישה שהוצגה במחקר והתרכזת בקיום התקנים ברמה המינימלית על מנת לעמוד בקריטריונים לבנייה ירוקה, בתכנון מבני משרדים ישנה חשיבות רבה לאימוץ גישת תכנון אקלימי המיושמת באופן אינטגרטיבי כבר משלב התכנון הראשוני, גישה שמעבר לקבלת התקן הירוק, מובילה לתוצאה אדריכלית המשפרת בצורה משמעותית הן את הביצועים האנרגטיים והן את תחושת הנוחות ופריון העבודה בתוך חלל המבנה וסביבתו. נספח זה מציג מספר עקרונות המדגימים גישה זו:

חלל המשרד - בכדי לממש את הפוטנציאל הרב הגלום באקלים הים תיכוני יש צורך ביישום עקרונות תכנון אקלימיים – פאסיביים בהתאמה לשינויים הארגוניים והטכנולוגיים המשנים את האופן שבו אנו עובדים ומתנהלים בחללי המשרדים (גישת INSIDE OUT). האופן שבו דרישות החלל משתנות מעבודה פרוצדורלית מכוונת תוצר (במשרדים קובייתיים) לחללי חשיבה מעוררי ההשראה המעודדים עבודת צוות (בחללים פתוחים ומגוונים), מקבל ביטוי הולך וגובר בתצורת החלל הפנימי ואנו עדים למגמות שינוי המשפיעות על מאזן האנרגיה במשרד (איור 8.1), שינוי בממשקי המשתמש וברמת הציפיות לנוחות ויזואלית ותרמית. בתכנון מכוון משתמש, תכנון הממשק בין המשתמש לבין מקבל משנה חשיבות - ממשק אינטואיטיבי וקל לתפעול המאפשר למשתמש להתאים את המבנה לצרכיו יכול לעבוד לאין שיעור טוב יותר ממערכת ממוחשבת היוצרת אופטימיזציה אוטומטית.



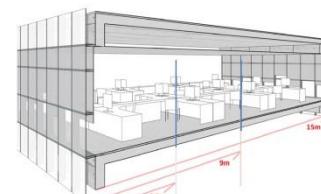
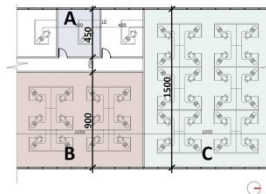
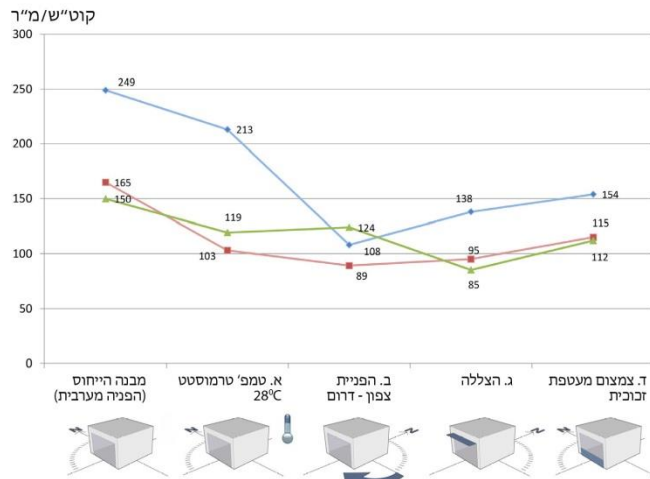
איור 8.1 - מגמות משתנות בארגון חללי משרדים

מקורות: Van Meel, J. 2000, (ימין), Google (מרכז), DeadLink.com, (שמאל)

תכנון פאסיבי - איור 8.2¹⁴³ מראה כיצד על ידי יישום אסטרטגיות תכנון אקלימי פשוטות (וזולות) כגון הפניית המבנה, הצללה יעילה, העלאת טמפרטורת התרמוסטט וצמצום אחוזי הזיגוג, ניתן לשפר משמעותית את צריכת

¹⁴² נספח זה נכתב ע"י אדריכל יונתן נתניאל www.studioADAPT.com, לאור התיזה שכתב ב- AA בלונדון בנושא התאמת תכנון מבני משרדים לאקלים הארצישראלי. במסגרת התיזה פותחה גישה אדריכלית חדשה – 'המשרד הפתוח' כחלופה לסטנדרט תכנון המשרדים הרווח בארץ; גישה המשלבת את יישום האופטימיזציה האקלימית בדרישות החלל החדשות של 'משרד העתיד' ויתרונות האקלים המקומי.

האנרגיה לקירור בחללי מבני משרדים בארץ מטיפוסים שונים. החלטות אלה מתקבלות בשלב מוקדם בתכנון וברוב המקרים עלות הביצוע שלהם נמוכה עד אפסית. שימוש באסטרטגיות מתקדמות (כגון קירור קרינתי ומערכות גאותרמיות, בשילוב מערכות לייצור אנרגיה חליפית) יכולים לשפר את מאזן האנרגיה לקראת מבנה משרדים מאופס אנרגיה.

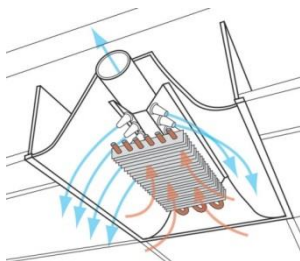


A משרד סלולרי (סגור) בעומק 4.5 מטרים
B משרד פתוח (OPEN SPACE) בעומק 9 מטרים באוויר דו צדדי
C משרד פתוח (OPEN SPACE) בעומק 15 מטרים באוויר דו צדדי

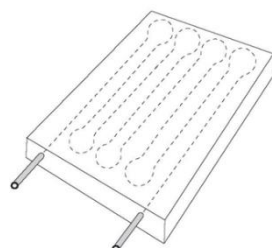
איור 8.2 - ניתוח אופטימיזציה עבור שלושה חללי משרדים באקלים אזור א

מקור: יונתן נתניאן

מערכות מבנה בנצילות אנרגטית גבוהה - שילוב המערכות האלקטרומכניות במבנה צריך להתבצע באופן כזה שיתמוך באסטרטגיות לחימום וקירור פאסיביים. לדוגמא, במיוחד באזורי ההר, מערכת המאפשרת אוורור לילה בצירוף מסה תרמית יכולים יחד למתן את מנעד הטמפרטורות בחלל המשרד בימי הקיץ ולהפחית את צריכת האנרגיה לקירור. מערכות קירור היברידיות חדשות משתמשות בעקרונות הפאסיביים כדי למתן באופן משמעותי את צריכת האנרגיה (איור 8.3).



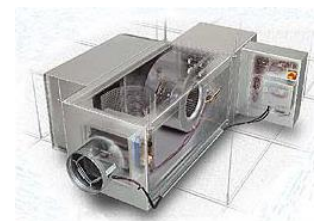
Chilled Beam system
Environmental Building News - מקור



Radiant Cooling Slab system
CIBSE Low Energy Cooling - מקור



Geothermal Cooling system
Wheal Jane - מקור



VAV (Variable Air Volume) System
Bushdistributors.com - מקור

איור 8.3 - מערכות מיזוג אויר מתקדמות

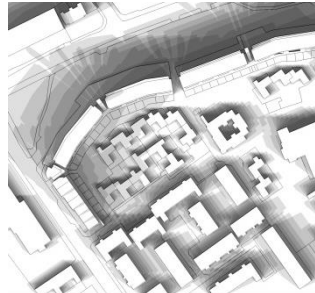
תכנון מכון מיקרו-אקלים עירוני נוח - מעבר לאקלום מבנה המשרדים הבודד, לגיאומטרית המבנה ולתנוחתו השפעה משמעותית על מיקרו האקלים סביבו; חשוב לפתח את השטחים הפתוחים (הציבוריים והפרטיים) ואת

¹⁴³ יונתן נתניאן, 2013, ['The Open Air Office' Climatic adaptation of the office building typology in the Mediterranean](#)

פרוגרמת הצמחייה על סמך הבנה מעמיקה הנובעת מניתוח משטר הרוחות וזכויות השמש (איור 8.4). תכנון המאפשר זכויות שמש ורוח ברמה העירונית מבטיח נוחות אקלימית להולכי הרגל והמשתמשים במרחב הציבורי כמו גם תפקוד אקלימי נכון של המבנים עצמם; לדוגמא, כאשר נמקם מבנה המשנה את משטר הרוחות יתכן ונפגע ביכולת של מבנה שכן להסתמך על קירור פאסיבי באמצעות אוורור טבעי.



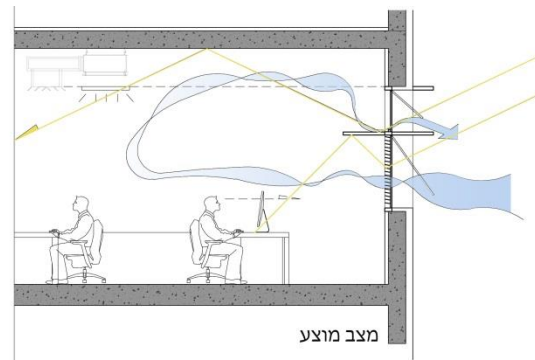
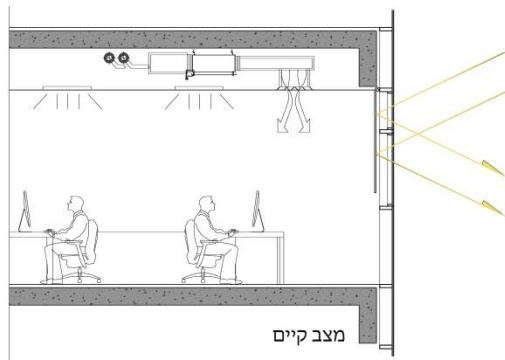
ניתוח משטר רוחות



ניתוח זכויות שמש

איור 8.4 - ניתוח מיקרו אקלימי

תכנון מעטפת חכמה - בניגוד למערכת קיר מסך מזכוכית אחידה לכל גובה הקומה המיושמת בצורה זהה בכל הפניות המבנה, תכנון נכון של המעטפת נובע מאיזון עדין בין השגת נוחות תרמית - על ידי סינון קרני השמש, ואפשרות לאוורור טבעי, לצד נוחות ויזואלית - על ידי פיזור תאורה טבעית ומניעת בוהק. מעטפת מבנה המשרדים יכולה להיות דינמית ולאפשר למשתמש להתאים אלמנטים בה בהתאם למחזוריות היומית והעונתית; כך בנוסף ליתרונות הנוחות והיעילות האנרגטית מתהווה שפה אדריכלית דינמית המבטאת את העקרונות האקלימיים במופע הבניין.



איור 8.5 - אופטימיזציה מעטפת מבנה משרדים

על מנת לקדם יישום נרחב של עקרונות אלו בתכנון חשובה מאוד הפקת הלקחים מניסיון מבנים קודמים דרך בסיס מידע מקומי מצטבר של נתוני צריכת אנרגיה וביצועי אמת של מבנים ירוקים; למידה מסוג זה לא יכולה להתבצע ללא חזרה למבנים לאחר הביצוע והאכלוס וקידום חקר הערכת מבנים בישראל ככלי למידה הכרחי לשיפור והתייעלות.

ב. חישוב נתוני זכוכית על מנת לעמוד בת"י 1045¹⁴⁴

להלן חישובים לפי השיטה המרשמית לגבי נתוני הזכוכית על מנת שבניין הייחוס (חלופה 1) יעמוד בדרישות ת"י 1045



חישובי מקדם רווח החום הסולארי המקסימלי של שמשות בבניין משרדים באזור אקלים א' בהתאם לשתי חלופות

חלופה 1

מקדם רווח החום הסולארי המקסימלי של שמשות	גורם השפעת הצללה של מצלילים		on wwr	שטח הכולל של הקיר A k מ"ר	שטח החלון (זיגוג) A w מ"ר	גורם הכיוון	
	f _v	f _h				OF	כיוון
0.408	1	1	0.735	132	97	1.12	דרום
0.364	1	1	0.735	132	97	1	צפון
0.232	1	1	0.737	118	87	1.75	מזרח
0.232	1	1	0.737	118	87	1.75	מערב

מקדם רווח החום הסולארי הממוצע המשוקלל הינו 0.293

חלופה 2

מקדם רווח החום הסולארי המקסימלי של שמשות	גורם השפעת הצללה של מצלילים		on wwr	שטח הכולל של הקיר A k מ"ר	שטח החלון (זיגוג) A w מ"ר	גורם הכיוון	
	f _v	f _h				OF	כיוון
0.408	1	1	0.735	132	97	1.12	דרום
0.364	1	1	0.735	132	97	1	צפון
0.375	1	1	0.457	118	54	1.75	מזרח
0.375	1	1	0.457	118	54	1.75	מערב

מקדם רווח החום הסולארי הממוצע המשוקלל הינו 0.38

1

גולד הנדסה (2010) יעוץ תרמי למבנים בע"מ

www.goldeng.co.il רח' ביל"ו 15 רחובות 7642008 טל: 03-6728095 פקס: 03-6728999 office@goldeng.co.il

¹⁴⁴ מהנדסת רוזה גולדין – גולד הנדסה ייעוץ תרמי למבנים בע"מ. חלופה 1 היא בניין הייחוס וחלופה 2 היא הבניין הירוק

חישובי העברות התרמית הכוללת הממוצעת של הבניין

עברות תרמית כוללת ממוצעת מקסימלית לפי ת"י 1045 חלק 3 הינה 2.8

חלופה 1

סוג האלמנט	שטח (מ"ר)	ההתנגדות התרמית הכוללת R מ"ר .מ.צ. / ווט
קיר חיצוני מבטון	2636	1.449
קיר בין גרעין למשרדים	4100	0.905
חלונות	7380	0.37

העברות התרמית הכוללת הממוצעת הינה 1.99

חלופה 2

סוג האלמנט	שטח (מ"ר)	ההתנגדות התרמית הכוללת R מ"ר .מ.צ. / ווט
קיר חיצוני מבטון	2636	1.449
קיר חיצוני קל	1310	1.639
קיר בין גרעין למשרדים	4100	0.905
חלונות	6070	0.37

העברות התרמית הכוללת הממוצעת הינה 1.76

ג. הנחות היסוד לבדיקה התפקודית לפי ת"י 5282 חלק 2¹⁴⁵

טבלה ד-1 ערכי משתני התכנון לפי הבדיקה התפקודית של ת"י 5282-2				
משתנים של קומה טיפוסית		דרישות למשרד ייחוס לפי ת"י 5282-2	בניין ייחוס של המחקר לפי ת"י 1045	בניין ירוק של המחקר לפי ת"י 5282-2
גאומטריה ומעטפת				
שטח רצפה/תקרה		(מ"ר)	50	843.85
גובה (מרצפה לרצפה)		(מ')	3.7	3.8
שטח מחיצות פנים		(מ"ר)	80	700
שטח קירות חוץ		(מ"ר)	96.8	132 198
שטח חלונות		(מ"ר)	9	368 302
סוג זיגוג	(LT)	0.63	0.51	
	(SHGC)	0.64	0.28	
	(U-VALUE)	3.57	1.3	
הצללה פנימית		(ST)	0.57	
הצללה חיצונית של 0.2 מ' בדרום בכל פרופיל אופקי		אין		כן
חומרים				
קירות חוץ		(U-VALUE)	0.54	0.61
רצפה/תקרה	אריח רצפה	(מ')	0.02	שטיח 0.03
	טיט	(מ')	0.02	0.3
	בטון	(מ')	0.15	
	טיח פנים	(מ')	0.015	
גוון פנים - מקדם החזרת אור	תקרה	בהיר	0.7	
	רצפה	כהה	0.3	
	קירות	בינוני	0.6	
מחיצות פנים	גבס	(מ')	0.012	
	אוויר	(מ')	0.05	
	גבס	(מ')	0.015	
גוון חוץ - מקדם בליעה	קירות	כהה (α)	0.7	0.45
	גג	בינוני (α)	0.45	
אוויר				
תחלופות אוויר	אינפילטרציה	(ACH)	1	
	לילה		אין	
	נוחות		אין	
תאורה				
תאורה חשמלית	8:00-20:00	(וואט/מ"ר)	12	
	8:00-20:00	(וואט/מ"ר)	0.8	
בקרת תאורה ON/OFF 1			כן	אין
בקרת תאורה עם דימר			אין	כן
מיקום החיישנים 1/2		(מ')	4.1	2.7 / 6.6

¹⁴⁵ ההדמיות הממוחשבות לבדיקת הדירוג האנרגטי של הבניינים בוצעו ע"י מיכאל לוי – מומחה לייעוץ אנרגטי לבנייה ירוקה. ראו הרחבה בסעיף 1.1.3 בפרק 4

טבלה ד-2 הגדרת עומסים לפי הבדיקה התפקודית ובדיקת חיסכון בחשמל עבור תאורה, חימום וקירור				
משתנים של קומה טיפוסית	דרישות למשרד ייחוס לפי ת"י 5282-2	בניין ייחוס של המחקר לפי ת"י 1045	בניין ירוק של המחקר לפי ת"י 5282-2	
עומס קל עד בינוני				
פעילות קלה בעבודה	(וואט)	126		
אנשים	(וואט/מ"ר)	0.12		
ציוד חשמלי קבוע	(וואט/מ"ר)	0.4		
ציוד חשמלי לא קבוע בשעות הפעילות	(וואט/מ"ר)	8		
טבלה ד-3 דרישות אקלום ותאורה לפי הבדיקה התפקודית של ת"י 5282-2				
משתנים של קומה טיפוסית	דרישות למשרד ייחוס לפי ת"י 5282-2	בניין ייחוס של המחקר לפי ת"י 1045	בניין ירוק של המחקר לפי ת"י 5282-2	
איזור אקלים א'				
חודשי תקופת הקיץ לקירור		אפריל עד אוקטובר		
חודשי תקופת החורף לחימום		נובמבר עד מרץ		
שעות פעילות ותאורה		8:00 - 20:00		
שעות הפעלת מערכת מיזוג אוויר		7:00 - 21:00		
טמפרטורה לקירור	(צ')	23.5		
טמפרטורה לחימום	(צ')	20.5		
טמפרטורה לקירור שלא בשעות הפעילות	(צ')	35		
טמפרטורה לחימום שלא בשעות הפעילות	(צ')	15		
עוצמת הארה על מישור העבודה	(לוקס)	500		
מקדם יעילות מערכת מיזוג אוויר	(COP)	3		

טבלה 8.1 - הנחות היסוד לבדיקה התפקודית לפי ת"י 5282 חלק 2