

המשרד לאיכות הסביבה
وزارة جودة البيئة
Ministry of the Environment



שלום עם הסביבה



ILGBC
המועצה הישראלית
לבנייה ירוקה

"בית ספר הוא
בניין עם 4 קירות
ובתוכו העתיד"

ציטוט אנונימי

תועלות הבנייה הירוקה בבתי ספר

תוכן העניינים

3	תקציר מנהלים
7	1. הקדמה
7	א. בנייה ירוקה בישראל
7	ב. בתי ספר ירוקים בישראל
8	ג. אודות המחקר
8	2. תועלות בתי ספר ירוקים
8	א. בריאות התלמידים והמורים
12	ב. התייעלות וחיסכון במשאבים
15	ג. שיפור בביצוע מטלות לימודיות, בציונים ובתפוקות
18	ד. השפעה על תרבות בית הספר ועל ההון האנושי
21	3. ביבליוגרפיה
23	4. נספח א
23	א. בית הספר רקפות, קריית ביאליק
27	ב. בית הספר היסודי 'דרויאנוב', תל אביב
30	ג. גן ילדים מאופס אנרגיה, חדרה
32	ד. בית ספר 'נופי ים' ת"א

כתיבה ועריכה: אדר' רוני דניאל | ליאור לוי

קרדיט צילום שער: Slava Bowman

1. תקציר מנהלים

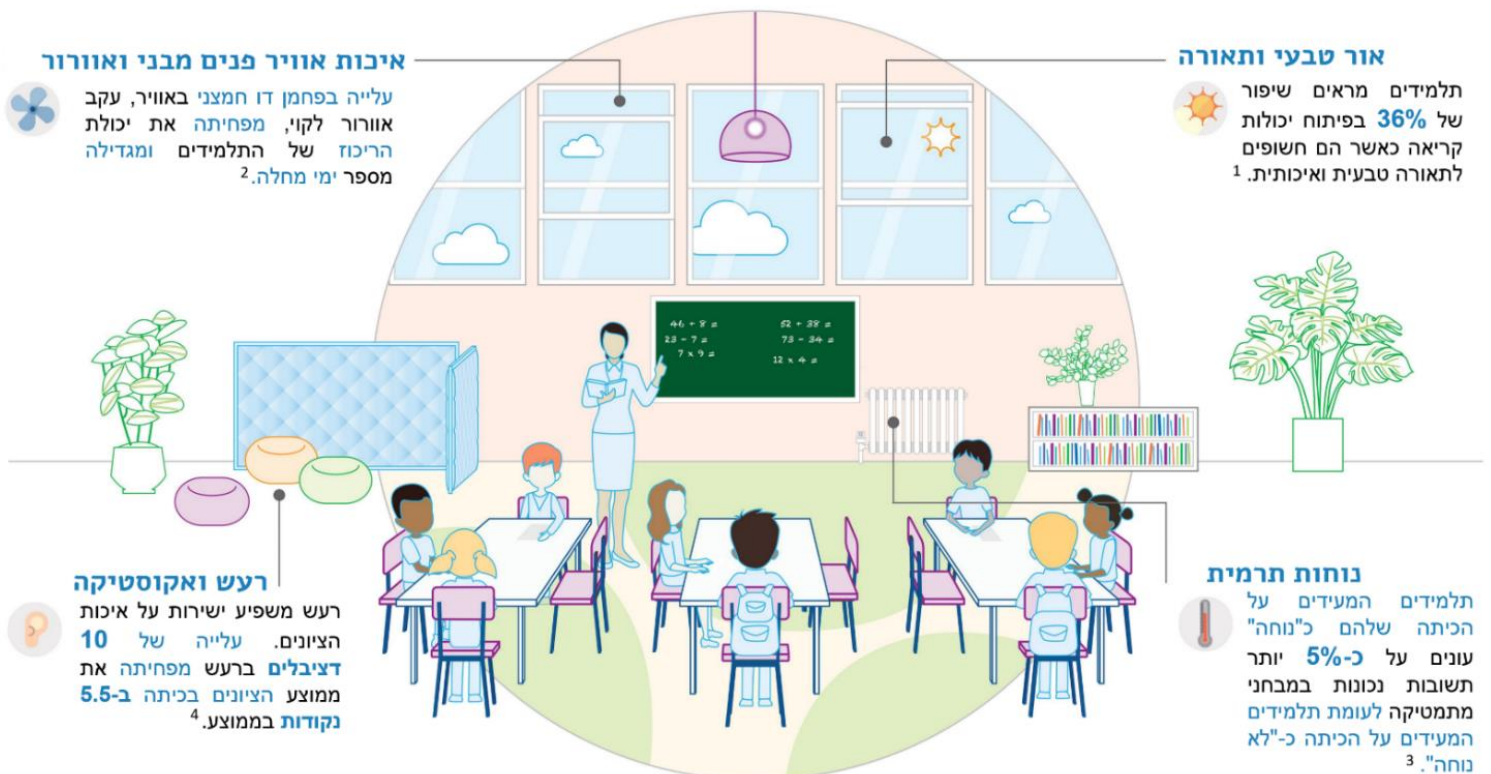
בנייה ירוקה מתמקדת בצמצום תשומות האנרגיה, המים ומשאבים נוספים הדרושים להקמת מבנים והפעלתם, ובכך היא תורמת לצמצום הנזקים הסביבתיים הקשורים בבנייה ובתפעול של מבנים. בנוסף, הבנייה הירוקה מצמצמת חשיפה למזהמים, מבטיחה איכות אקוסטית ותרמית ומשפרת מדדים התורמים לרווחת משתמשי המבנה.

מטרת המסמך הינה לשקף את המאפיינים והתועלות של בתי ספר ירוקים. המסמך מתבסס על מספר מקורות שונים: מאמרים אקדמיים, מחקרים ומקרי בוחן מהימנים ממדינות שונות בעולם כגון ארה"ב, קנדה ואוסטרליה. כמו כן, המסמך מציג נתונים מספריים רלוונטיים המדגישים את יתרונותיהם של בתי ספר ירוקים.

המסמך מדגים כיצד הטמעה של עקרונות בנייה ירוקה בבתי ספר משפיעה על ארבעה מדדים קריטיים לתפקוד המבנה ופעילות משתמשי: בריאות התלמידים והמורים, התייעלות וחסכון במשאבים, שיפור בציונים ובתפוקות והשפעה על תרבות בית הספר.

יתרונות אלו נבחנו ותועדו לאורך השנים על ידי אוניברסיטאות, גופי מחקר מהארץ ומהעולם ומשרדי ממשלה אשר בחנו היבטים מדידים כגון חשבונות חשמל, תוצאות מבחנים, שביעות רצון, היעדרויות תלמידים ומורים ועוד. תועלות אלו נבחנו במקביל לחישוב העלויות הנוספות שנדרשו להתווסף לצורך "ירוק" בתי הספר, וכן חושב זמן החזר ההשקעה. מגוף המחקר המצטבר עולה שהשקעה בבתי ספר כדאית מבחינה כלכלית בראייה ארוכת טווח וזאת בזכות בחינת החיסכון הכספי בלבד, המהווה רק מימד אחד של תועלות הבנייה הירוקה. התועלות הלא כספיות הניכרות הינן, בין היתר, שיפור בבריאות התלמידים, תחושת המורים, איכות הלימוד, צמצום ימי היעדרות ושיפור בציונים.

דוגמאות לתועלות בריאותיות הנובעות ממרכיבי הבנייה הירוקה¹



1. Illuminating the effect of dynamic lighting on student learning (2012). Sage open.
2. Classroom carbon dioxide concentration, school attendance and education attainment. (2014). J Sch Health.
3. Sixth grade pupil health and performance and indoor environmental quality in Finnish school buildings. (2012). British journal of education research.
4. Association between ambient noise exposure and school performance of children living in an urban area. A cross population-based study.(2014). Journal of Urban Health.

¹ מקור התרשים: Better Places for People - Research on Health, Wellbeing and Performance in Green Schools, 2017, World Green Building Council.

תחלואה והפחתת ימי מחלה

לאור הזמן הרב שתלמידים ומורים שוהים בבית הספר, בשילוב עם הרגישות המוגברת של ילדים לזיהום אוויר פנים מבני, חשיבות איכות האוויר הפנים מבני קריטית לבריאות השוהים במבנה. מזהמי אוויר פנים מבניים עשויים להיות בערכים הגבוהים פי 100 יותר מאיכות האוויר בחוץ (Olson & Kellum, 2003) **כמו כן, איכות אוויר ירודה בתוך מבנה יכולה לגרום לתסמינים כגון, כאבי ראש, עייפות, קוצר נשימה, אסטמה ואלרגיות.** הממצאים מראים כי היעדר אוויר צח ומספר נמוך של החלפות אוויר בשעה מעלים את הסיכוי לסבול מבעיות נשימה במאות אחוזים. מעבר לכך, היעדר תחלופת אוויר נאותה עלול לגרום להפצת מחלות הנישאות באוויר.

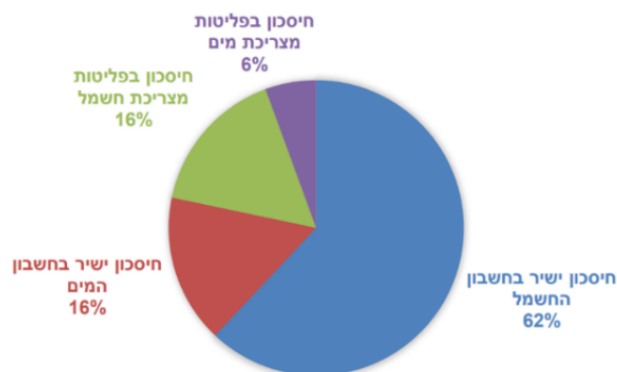
בנוסף, לחות ועובש, הנפוצים במבנים אשר אינם מאווררים היטב, עשויים להגביר שכיחות של מגוון בעיות בריאותיות בקרב ילדים ומבוגרים. מחקרים מצביעים על כך שתלמידים בארצות הברית מפסידים כ-14 מיליון ימי לימוד במצטבר בשנה בעקבות אסטמה ובעיות נשימה. **שיפור איכות האוויר בבתי ספר יכול להפחית את שיעורי היעדרות עד 15% (Green building council of Australia, 2017).**

התייעלות וחיסכון במשאבים – אנרגיה, מים ופסולת

המחקרים הבינלאומיים מראים שבבתי ספר ירוקים העלויות התפעוליות נמוכות יותר מכיוון שהמבנה צורך פחות אנרגיה ומים. בעוד שבבניית בתי ספר ירוקים עולה בטווח של בין 1.5% עד ל-7% יותר מאשר בנייה של בתי ספר קונבנציונליים, וזאת בעיקר כפונקציה של גודל המבנה, נמצא שהשקעה ראשונית נוספת זו מובילה להחזר השקעה הגדול פי 20 לאורך שנות תפעול בית ספר ממוצע. בנוסף, בתי ספר ירוקים צורכים בממוצע 32% פחות מים ו-33% פחות אנרגיה מאשר בתי ספר קונבנציונליים (Green building council of Australia, 2017).

מחקרים מקומיים תומכים בממצאים אלו. מחקר מאוניברסיטת חיפה מראה כי סך התועלות הכספיות הישירות מסתכמות בממוצע בכ-85 אלף ש"ח ובכמעט 100,000 ש"ח לשנה למשק.

מרכיבי החיסכון השנתי של בית ספר ירוק²



תועלת (₪)	תחום
60,000	חשמל
15,750	מים
15,600	פליטות
5,400	פליטות
96,750	סה"כ תועלות לשנה (₪)

²מתוך: 'ירוק' זה כדאי? ניתוח עלות-תועלת של בתי ספר 'ירוקים' בישראל, ד"ר רוסלנה רחל פלטינק, פרופ' אופירה אילון ד"ר תמר טרופ, ד"ר אילת דוידוביץ, אוניברסיטת חיפה. 2017.

במחקר הישראלי נמצא כי מרכיבי החיסכון השנתי של בית ספר ירוק בישראל הינם: 6% חיסכון בפליטות מצריכת מים, 16% חיסכון בפליטות מצריכת חשמל, 16% חיסכון ישיר בחשבון המים ו- 62% חיסכון ישיר בחשבון החשמל. יש לציין כי ככל שהמיומנות בבנייה ירוקה ומספר אנשי המקצוע בתחום נמצאים בעלייה, כך עולים הסיכויים לזיהוי הזדמנויות לחיסכון נוסף.

שיפור בביצוע מטלות לימודיות, בציונים ובתפוקות

בתי ספר ירוקים מספקים תנאי לימוד טובים יותר ללמידה המשפיעים על טווח הקשב והריכוז ושומרים על בריאותם של תלמידי בית הספר. לדוגמא, במחקר שנערך על ידי The Acoustical Society of America (2009) נמצא קשר ישיר בין איכות האקוסטיקה בכיתות לפיתוח והבנה של שפה וביצועי הלמידה של תלמידים. כמו כן, בכיתות בהן האקוסטיקה איכותית, קל יותר למורים ללמד. **בכיתות בהן האקוסטיקה ירודה, תלמידים אינם מסוגלים לשמוע כ-10% מסך החומר הנלמד** וכן 65% מהמורים חווים אבדן קול ודלקות במיתרי הקול (Durup, 2015). כמו כן, ולהבדיל, נמצא כי באוניברסיטאות ובתי ספר ירוקים בארצות הברית ישנו שיפור של עד כ-15% בפרודוקטיביות של התלמידים ושיפור של עד כ-25% בציוני התלמידים עקב תאורה טובה, אקוסטיקה ואוורור.

בנוסף, מחקר השפעות אור יום אשר בחן יותר מ-21,000 תלמידים (Chapman, 2012) הראה קשר חיובי בין בתי ספר המוארים בתאורה טבעית לבין ביצוע חיובי של מטלות על ידי תלמידים. תוצאות המחקר הצביעו על 20% התקדמות מהירה יותר במתמטיקה, 26% התקדמות מהירה יותר בקריאה ועלייה בביצועי התלמידים של 10%-5%. כמו כן, מחקרים המעידים על הקשר בין טמפרטורת החדר לביצועים מצאו ירידה של עד כ-10% בציוני מבחנים כאשר הטמפרטורה אינה נוחה (World green building council, 2014). נוחות תרמית, כאמור, משפרת הן את תפוקת התלמידים והן שומרת על ערנותם.

השפעה על תרבות בית הספר ועל ההון האנושי

מורים, המבלים 90% ממשך יום העבודה בתוך מבנה בית הספר, מושפעים גם הם מתאורה טבעית, אוויר נקי ונוחות תרמית של המבנה. בתי ספר ירוקים מדווחים באופן שוטף על צמצום בתחלופת המורים. על פי הערכה, שימור מורים בבתי ספר ירוקים מתורגם לחיסכון כספי של כ-4\$ למטר מרובע על פני תקופה של 20 שנה (Wyon & Wargocki, 2007).

מחקר אשר השווה בין בתי ספר ירוקים לבתי ספר שאינם ירוקים וכלל סקר של 150 מורים, בדק את שביעות רצונם של המורים מאיכות האוויר בתוך המבנה, תאורה, נוחות תרמית, אקוסטיקה בכיתות ועוד. הניתוח הסטטיסטי הראה כי מורים בבתי ספר ירוקים מרוצים יותר באופן כללי מהכיתות, מאזור סביבת העבודה האישית שלהם, נוחות, איכות האוויר, חימום ואוורור מאשר מורים בבתי הספר האחרים. כמו כן, שיעור היעדרותם של התלמידים, המורים ושאר הסגל בבתי הספר הירוקים השתפר ב 7.5%-2. לבסוף, **בתי ספר ירוקים מדווחים באופן שוטף על הפחתה בתחלופת המורים**. (Kats, 2015).

כפי שניתן לראות מהנתונים עד כה, אין סיבה אחת בלבד עבור מדינות וערים לאמץ דרישות סביבתיות לבנייה בבתי ספר. החיסכון הכספי אשר מצדיק את ההשקעה בבנייה ירוקה, מתבטא במרכיבים רבים ומגוונים, ובהם: צמצום עלויות האנרגיה הנדרשות לאקלום והארת המבנה, עלות מופחתת של תשתיות ציבוריות, הפחתת זיהום אוויר ומים, הון אנושי שבע רצון ומיומן יותר עקב שיפור בריאות המורים ושימורה, שיפור בתחושות, בריאות וביצועי מטלות התלמידים (Kats, 2005).

סיכום תועלות בתי הספר הירוקים בהיבטים בריאותיים, חינוכיים, כספיים ותרבותיים

<p>נטרול גורמים הגורמים לכאבי ראש, עייפות, קוצר נשימה, גודש באף, שיעול, גירויים בגרון ובעור וסחרחורות</p>	<p>הגדלת יכולות ריכוז ושיפור בציוני התלמידים</p>	<p>אוויר איכותי המפחית אסטמה בקרב ילדים ונוער ומפחית היעדרויות תלמידים עקב בעיות נשימה</p>	<p>תועלות בתי ספר ירוקים לבריאות התלמידים והמורים</p>
<p>בית ספר ירוק חוסך לאורך כ-20 שנה מספיק בכדי להעסיק מורה נוספת במשרה מלאה או לחילופין לרכוש 200 מחשבים חדשים או 5,000 ספרי לימוד חדשים</p>	<p>סך התועלת הכלכלית עבור בית ספר ירוק עומדת על כ-96,750 ₪ לשנה</p>	<p>בתי ספר ירוקים צורכים בממוצע 32% פחות מים ו-33% פחות אנרגיה מאשר בתי ספר קונבנציונליים</p>	<p>תועלות בתי ספר ירוקים להתייעלות וחסכון במשאבים</p>
<p>בבתי ספר בעלי תאורה טבעית איכותית קיימת בממוצע 20% התקדמות מהירה יותר במתמטיקה ו-26% התקדמות מהירה יותר באיכות הקריאה</p>	<p>שיפור של עד כ-15% בלמידה ובפרודוקטיביות של התלמידים, ושיפור של עד כ-25% בציוני התלמידים עקב תנאים תרמיים מותאמים</p>	<p>בכיתות בעלות אקוסטיקה ירודה, תלמידים אינם מסוגלים לשמוע כ-10% מסך החומר הנלמד</p>	<p>תועלות בתי ספר ירוקים לשיפור בציונים ובתפוקות</p>
<p>תחלופת מורים נמוכה יותר המתורגמת לחיסכון כספי של כ-\$4 למטר מרובע על פני תקופה של 20 שנה</p>	<p>שיעור היעדרות של התלמידים, המורים ושאר הסגל בבתי ספר הירוקים השתפר ב-2% - 7.5%</p>	<p>מורים בבתי ספר ירוקים מרוצים יותר מכיתות הלימוד ומאזור סביבת העבודה האישית שלהם</p>	<p>השפעה על תרבות בית הספר ועל ההון האנושי</p>

2. הקדמה

בנייה ירוקה בישראל

הבנייה הירוקה בישראל נמצאת בצמיחה. חלפו כ-7 שנים מאז הושק התקן הישראלי לבנייה ירוקה במסגרתו המורחבת ומאז נבנו על פיו מאות מבנים בישראל, לצד מבנים ירוקים שנבנו ודורגו על ידי כלי הערכה בינלאומיים כדוגמת ה-LEED האמריקאי. הבניינים הירוקים שנבנו בישראל הינם בפריסה גיאוגרפית רחבה, בייעודים שונים של מבנים (מגורים בתי ספר, משרדים, מוסדות ציבור וכד') וכן ברמות יישום שונות של פרקטיקות בנייה ירוקה ושל חדשנות.

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.

התפתחותו של תחום הבנייה הירוקה בישראל באה לידי ביטוי במגוון מישורים: במישור התכנוני, במישור הרגולטורי ובמישור המחקר האקדמי והחץ-אקדמי. מספר גדול של יזמים וחברות קבלניות בונה היום על פי תקני בנייה ירוקה, מספר אנשי המקצוע בתחום גדל ובמקביל מתרחב שוק המוצרים לבנייה ירוקה והיצע החומרים והאסטרטגיות או טכניקות הבנייה. מספר הולך וגדל של רשויות מקומיות וגופים ממשלתיים אימצו למעשה את התקן לבנייה ירוקה ומחייבים בנייה על פי תקנים מוכרים.

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). מאז הצטרפו להחלטה זו גם רשויות מקומיות נוספות שאינן חברות בפורום ה-15. כמו כן, גופים גדולים כגון מנהל הדיור הממשלתי ומשרד הביטחון החליטו כי כל בנייה חדשה תהיה על פי תקן לבנייה ירוקה.

בתי ספר ירוקים בישראל

יחד עם ההתקדמות המרשימה והדרגתית בתחום, מספרם של בתי הספר הירוקים בישראל עדיין נמוך. בין השנים 2011-2017 נבנו בישראל 14 בתי ספר ירוקים בלבד³ (ואגף אחד בתיכון). תמונות מבתי ספר אלו משובצים במסמך זה לשם הדגמה. על פי משרד החינוך נבנים בישראל כ-3,000 כיתות חדשות בכל שנה, הווה אומר, אחוז הבנייה הירוקה בבתי ספר בישראל הינו מזערי.

בנוסף, בימים אלו מתבצע פרויקט לאיסוף מידע וניתוחו בישראל על ידי המועצה הישראלית לבנייה ירוקה והמשרד להגנת הסביבה, הנועד למדוד את התועלות והביצועים של בתי ספר בבנייה ירוקה. כבר כעת ניתן לראות, לפי מדידות אשר התקיימו בפועל, לצד ההתאמה של המחקרים העולמיים לישראל, שבתי הספר הירוקים טובים יותר מבחינה כלכלית ובריאותית.

את מספרם הנמוך יחסית של בתי ספר אלו ניתן לייחס, מתוך שיח עם השטח, לתוספת העלות הנדרשת לצורך עמידה בדרישות התקן, הנעה בטווח של בין 1.5%-7%. בתי ספר, הנסמכים על תקצוב ממשלתי הניתן ע"י משרד החינוך ועל מקורות מוניציפליים נוספים על מנת לממן את הקמתם, מתקשים לעמוד בתוספת עלות זו ולכן, פרט לבית הספר רקפות בקריית ביאליק, כל בתי הספר הירוקים שהושלמה בנייתם, נבנו עד כה במרכז הארץ ובאזור השרון. מצב זה יוצר פער בין ישובים הנהנים מבתי ספר חסכוניים, בריאים ואיכותיים לבין ישובים חלשים

³ בתי ספר נוספים נבנו במהלך 2018 במסגרת ערי פורום ה-15.

כלכלית, אשר זקוקים למבני בתי ספר איכותיים, אך אינם מסוגלים כלכלית להנות מהתועלת של המבנה הירוק.

לבנייה הקונבנציונלית ישנן השלכות על בריאות ותפקוד הצוות והתלמידים, על איכות חייהם ועל הסביבה. הטמעת עקרונות בנייה ירוקה במוסדות חינוך הינו צעד חשוב לעתיד התלמידים בישראל לשיוויון הזדמנויות וצמצום פערים.

אודות המחקר

מסמך זה מתעד את תועלותיהם של בתי הספר ירוקים לעומת בתי הספר קונבנציונאליים. המסמך מפרט כיצד הטמעה של עקרונות הבנייה הירוקה בבתי הספר משפיעים על בריאות התלמידים והמורים, התייעלות וחיסכון במשאבים, שיפור בציונים ובתפוקות, תרבות בית הספר ועוד. כמו כן, במסמך זה מאוגדים מספר מקורות מידע שונים - מאמרים אקדמיים, מחקרים ומקרי בוחן מהימנים ממדינות שונות, וכן, נתונים מספריים רלוונטיים על אודות יתרונותיהם של בתי ספר ירוקים ממקורות מידע מהימנים ומקובלים. בנוסף, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה מבצעת בימים אלו בחינת צריכת אנרגיה בפועל של בתי ספר ירוקים לעומת בתי ספר "רגילים" – התובנות ממחקר זה יצטרפו לגוף הידע שנאסף במסמך זה.

מגבלות המחקר

במהלך איסוף המידע ניתן דגש על מחקרים עדכניים ככל האפשר, ממקורות אמינים וידועים. יחד אם זאת יש לציין כי במחקרים מסוג זה קשה לבדד משתנים בלתי תלויים וזיהוי קשר בין אזור או אקוסטיקה לעלייה בציונים הינו מאתגר מחקרית מאחר וישנם משתנים נוספים כגון גיל בית הספר, איכות הבנייה, איכות צוות ההוראה, מיקום המבנה, רמה סוציו אקונומית וכו' המשפיעים אף הם.

מסיבה זו נעשה מאמץ לאתר מס' רב ככל האפשר של מחקרים המראים בפועל קורלציה בין מרכיבי בנייה ירוקה לבין תועלות בריאותיות, פדגוגיות וחברתיות. מחקרים אלו, מטבעם, פתוחים לביקורת ומסיבה זו חשוב להמשיך לקדם מחקרים מסוג זה, בארץ ובעולם, באופן פתוח ושקוף על מנת לקבל תמונות מצב עדכנית והבנת עומק אודות הקשר בין המרחב הבנוי לאיכות הלימוד.

3. תועלות בתי ספר ירוקים

א. בריאות התלמידים והמורים

תחלואה - הפחתת ימי מחלה

לחות ועובש נפוצים במבנים שאינם מאווררים היטב ונובעים הן ממקורות חיצוניים והן מכשלים הקשורים לאיכות הבנייה. עובש ולחות יכולים להוביל למגוון בעיות בריאותיות לילדים ולמבוגרים. מחקרים מדעיים מצביעים על כך שסימפטומים נשימתיים ומחלות בדרכי הנשימה, במיוחד אסטמה, בקרב ילדים ומבוגרים מקושרים לעודף לחות ועובש במבנים. כל אלו מהווים סיבה נפוצה להיעדרות מבית ספר וממקום העבודה. ניתן לראות כי בארצות הברית בין השנים 1994-1996 בלבד נרשמו 14 מיליון ימי היעדרות בבתי הספר בעקבות מחלת האסטמה. אחד הדגשים בהקמת בתי ספר ירוקים הינו איכות האוויר ומניעת עובש. עקרונות הבנייה הירוקה מתייחסים לתכנון, הקמה, תפעול ותחזוקה של בית הספר, מעטפת הבניין – יסודות, קירות, חלונות וגגות, כולם בעלי השפעה על בריאות הנוכחים בבתי הספר והפחתת התחלואה בסביבת הלימודים (National Academy of Sciences, 2007).

נושא איכות האוויר והנשימה חשוב במיוחד עבור ילדים, המושפעים בקלות מתכנון לקוי ואיכות אוויר נמוכה. מחקר אמריקאי (Mendell & Heath, 2005) סקר את סוגי זיהום האוויר המשפיעים על ילדים בבתי הספר, ומחקר דומה נעשה גם בישראל (מוסדות חינוך בסביבה בריאה, אדם טבע ודין, 2016). המחקרים קוראים לאמץ תקני איכות אוויר מחמירים בבתי הספר. ממצאים מראים שהיעדר אוויר צח ומספר נמוך של החלפות אוויר בשעה מעלים את הסיכוי לשכיחות בעיות נשימה במאות אחוזים. מחקר נוסף (Zuraimi et al., 2007) מראה את הקשר בין אוורור איכותי להפחתת האסטמה בקרב ילדים ונוער.

מחקר על אסטמה בקרב תלמידי בית הספר אישר כי שכיחותה בבתי הספר קשורה באופן ישיר לאיכות אוויר ירודה: לחות אוויר גבוהה יחסית, ריכוז גבוה יותר של תרכובות אורגניות נדיפות, עובש או חיידקים (Olson & Kellum, 2003).

הזמן הרב שתלמידים ומורים שוהים בבתי הספר, בשילוב עם הרגישות המוגברת של ילדים למזהמים פנימיים, מחדדים את החשיבות של איכות האוויר בתוך המבנה. מחקרי ה-EPA⁴ בארה"ב מצביעים על כך שמזהמי אוויר פנימיים עשויים להיות פי 2, פי 5 ולעיתים קיצוניות עד פי 100 מאשר באוויר החוץ. כמו כן, איכות אוויר ירודה בתוך מבנה עלולה לגרום לתסמינים כגון: כאבי ראש, עייפות, קוצר נשימה, גודש באף, שיעול, גירויים בגרון ובעור, סחרחורת ובחילה, וכן התקפי אסטמה, תגובות אלרגיות ועוד. סימפטומים אלה מכונים ביחד "תסמונת בניין חולה"⁵ (SBS) (Olson & Kellum, 2003).

המקורות הבעייתיים העיקריים של איכות האוויר בתוך המבנה הינם חימום, אוורור מכאני, ומערכות מיזוג אוויר (HVAC). מערכת HVAC שולטת במחזור האוויר בכל מבנה, מכניסה אוויר צח לתערובת ומסננת חלקיקים מרחפים. חוסר אוורור או ניקוי לעתים רחוקות של מערכות אלה יכולים לשאוב זיהום דרך הבניין שוב ושוב. אחד המזהמים הנפוצים ביותר התורמים להשפעות אלה הוא עובש אשר יכול להשפיע באופן משמעותי על הבריאות, ובמקביל משפיע לרעה על הזדקנות מוקדמת של מערכות מכניות וקונסטרוקטיביות של הבניין עצמו. בעיות עשויות להתרחש גם כאשר מבנה אינו מתוחזק כראוי. המחקרים מעידים על צורך במערכות מכאניות ואוורור יעילות כדי להבטיח את האוויר הצח המתאים בכל האזורים הנגועים ולמזער איסוף של לכלוך, לחות וצמיחה מיקרוביאלית וכן העצמה של צוות התחזוקה לשימוש יעיל במערכות אלו (Olson & Kellum, 2003).

כאמור, איכות אוויר ירודה בתוך מבנה יכולה להשפיע על הנוחות והבריאות של התלמידים והסגל, וכן על ריכוז, נוכחות, ביצועי התלמידים והישיגיהם. תכנון בר קיימא, מעצם הגדרתו, מסייע לשפר את איכות האוויר בתוך המבנה ומסייע לחסל תנאים הקשורים לתסמונת הבניין החולה. בנייה ירוקה מסייעת לטפל באיכות האוויר בתוך המבנה עוד בשלב התכנון הראשוני. מערכות בנייה יעילות, המאזנות את החילוף בין האוויר הפנימי והחיצוני, יוצרות סביבת בנייה בריאה הן לתלמידים והן למורים (Olson & Kellum, 2003).

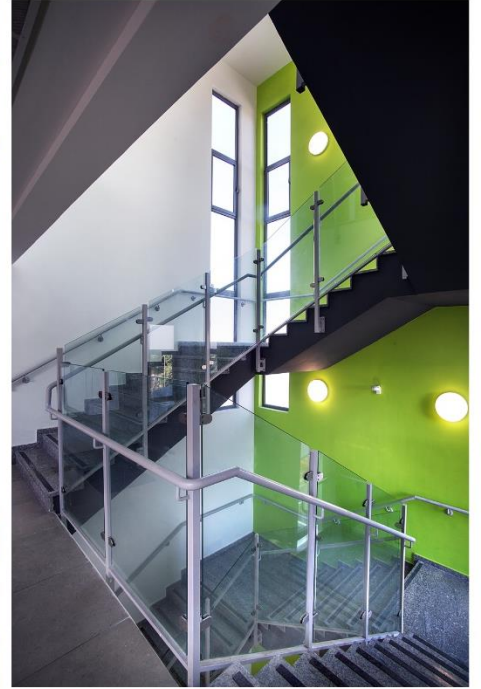
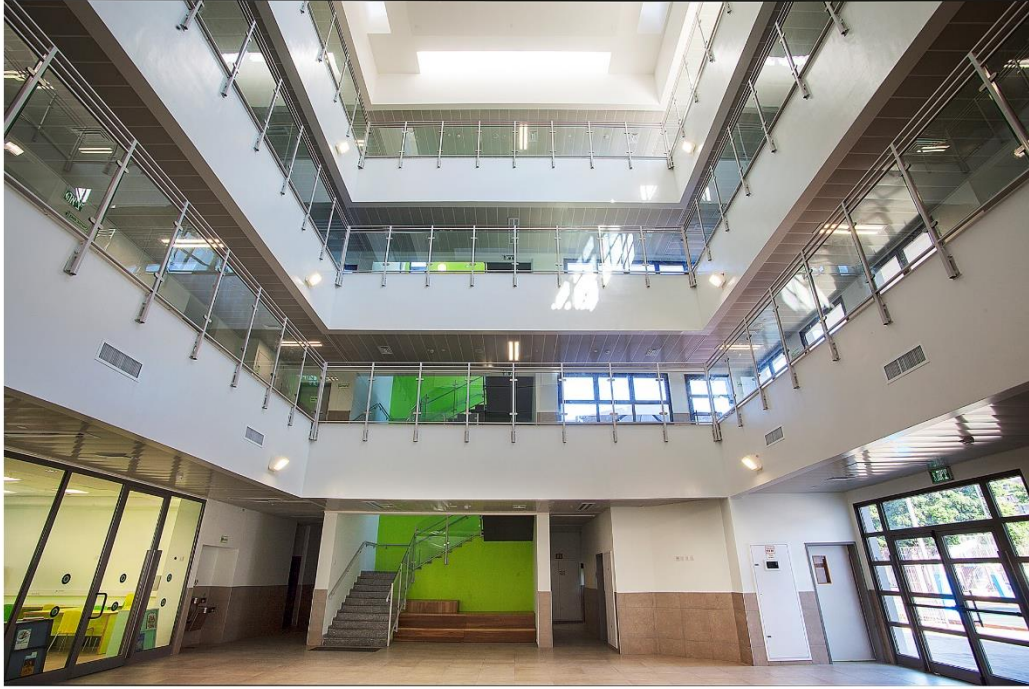
⁴ United States Environmental Protection Agency
⁵ Sick Building Syndrome

תועלות בתי ספר ירוקים לבריאות התלמידים והמורים

נטרול גורמים
הגורמים לכאבי ראש,
עייפות, קוצר נשימה,
גודש באף, שיעול,
גירויים בגרון ובעור
וסחרחורות.

הגדלת יכולות
ריכוז ושיפור בציוני
התלמידים

אווור איכותי
המפחית אסטמה
בקרב ילדים ונוער
ומפחית היעדרויות
תלמידים עקב
בעיות נשימה



כניסת תאורה טבעית בחלל משותף וחדר מדרגות מאוורר, בית ספר דרויאנוב, ת"א
צילום: רן ארדה.



תאורה טבעית וחלל משולב. בית ספר תמיר, ראשון לציון
צילום: ליאור אביטן.

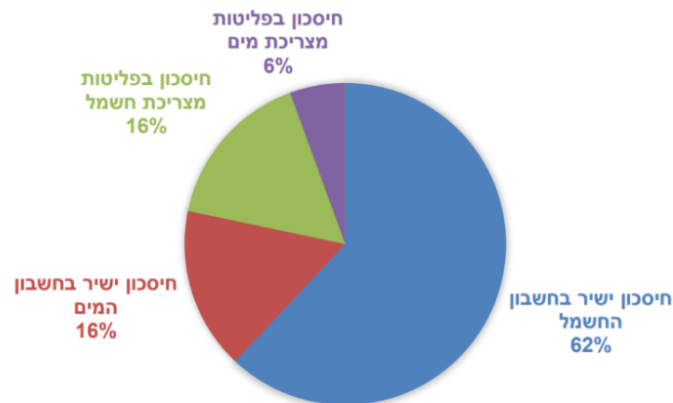
ב. התייעלות וחסכון במשאבים

חסכון באנרגיה ובמים

היתרון ה"קלאסי" של בתי הספר הירוקים מתבטא בעלויות תפעוליות נמוכות יותר מכיוון שהמבנה צורך פחות אנרגיה ומים. במחלקת החינוך של ארצות הברית נערך מחקר בינלאומי מקיף ובו נמצא כי בעוד שבניית בתי ספר ירוקים נדרשת השקעה של בין 1-2% יותר מאשר בנייה של בתי ספר קונבנציונליים, כאשר החזר ההשקעה היה פי 20 ויותר. בנוסף, המחקר הראה כי בתי ספר ירוקים צורכים בממוצע 32% פחות מים ו-33% פחות אנרגיה מאשר בתי ספר קונבנציונליים. שימוש יעיל בתאורה, חימום וקירור, בידוד טוב יותר, שימוש אפקטיבי יותר באור יום ואוורור טבעי מפחיתים את צריכת האנרגיה והמים, וכתוצאה מכך צמצמו את העלות השוטפת הנדרשת לאחזקת המבנה. כמו כן, בניין ירוק חוסך מספיק כסף על פני תקופה של 20 שנה בכדי להעסיק מורה נוספת במשרה מלאה או לחילופין לרכוש 200 מחשבים חדשים או 5,000 ספרי לימוד חדשים (Green building council of Australia, 2017).

כמו כן, במסגרת מחקר שנעשה בישראל בוצעה בחינת כדאיות כלכלית של בנייה ירוקה בבתי ספר בישראל ונמצא כי העלויות הנוספות של בנייה ירוקה של בתי הספר עומדת על כ-7% בממוצע מעלות הבנייה הקונבנציונלית המתוקצבת על ידי משרד החינוך. בנוסף לכך, נמצא כי מרכיבי החיסכון השנתי של בית ספר ירוק הינו 6% חיסכון בפליטות מתהליכי צריכת מים, 16% חיסכון בפליטות מצריכת חשמל, 16% חיסכון ישיר בחשבון המים ו-62% חיסכון ישיר בחשבון החשמל (פלטינק, אילון, טרופ, דוידוביץ, 2017).

מרכיבי החיסכון השנתי של בית ספר ירוק



תחום	תועלת (₪)
חשמל	60,000
מים	15,750
פליטות	15,600
חיסכון בפליטות מצריכת חשמל	5,400
חיסכון בפליטות מצריכת אנרגיה ליצור מים	96,750
סה"כ תועלות לשנה (₪)	96,750

כלומר, סך כל התועלת הכלכלית למשק לשנה עבור בית ספר ירוק עומדות על כ-96,750 ₪. כאמור, נמצא בתרחיש הבסיסי נקודת איזון והחזר השקעה של תוך כעשור. ממצא נוסף במחקר הינו שהתועלת הנקייה המהוונת לחברה עומדת על כמיליון ₪ במחירי 2016 לאחר כעשרים שנה. על כן, תוצאות המחקר מצביעות על תועלת חברתית וכלכלית נקייה למשק מבנייה ירוקה של בתי ספר. המשמעות היא שהציבור והמשק בישראל מרוויחים מכל בית ספר שנבנה בבנייה ירוקה (פלטינק, אילון, טרופ, דוידוביץ, 2017).

מחקר זה עומד בהלימה עם המחקרים הבינלאומיים. מחקר שנערך בארצות הברית מצא שאם כל בתי הספר יבנו בבנייה ירוקה וכל בית ספר שכבר קיים יעבור שיפוץ ויחל להיות ירוק החל מהיום, חיסכון האנרגיה לבדו יסתכם ב 20 מיליארד דולר במשך 10 השנים הבאות (Kats, 2006).

המוטיבציה העיקרית לערים ולמדינות לאמץ דרישות לבנייה ירוקה היא קיצוץ בעלויות, שיפור השירותים וטיפול במגוון רחב של אתגרים כגון עלות אנרגיה גבוהה, החמרת אילוצי רשת החשמל ובעיות איכות החשמל, עלות הטיפול בפסולת, המים והעלויות הכרוכות בזיהום מים, כולם מדידים כלכלית. החיסכון הפיננסי בכללותו גדול באופן משמעותי מהעלות הראשונית, ועליו נוספת עלות מופחתת של תשתיות ציבוריות, וכוח עבודה מיומן יותר עקב שיפור בריאות המורים ושימורה שגם הם בעלי משמעותיות ציבוריות וכלכליות (Kats, 2005). לבנייה הירוקה, ובמיוחד בבתי הספר המהווים מרכזים קהילתיים, ישנם גם יתרונות בעידוד במירוב השימוש בקרקע, החוסכת בשטח ציבורי, מרחיבה את ההון הבנוי לתושבים וחוסכת בניית מבנים נוספים.

תועלות בתי ספר ירוקים להתייעלות וחסכון במשאבים

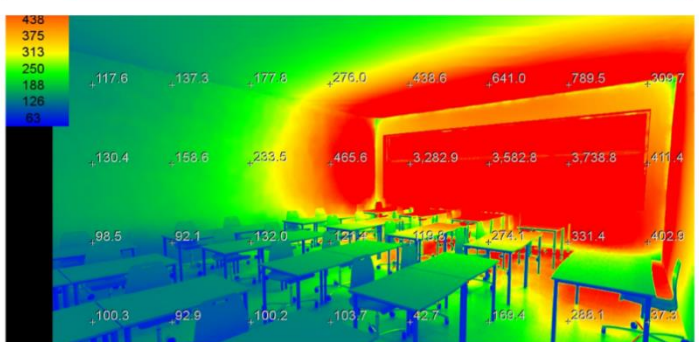
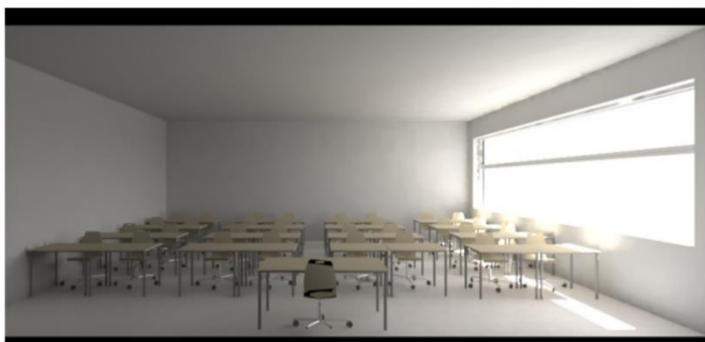
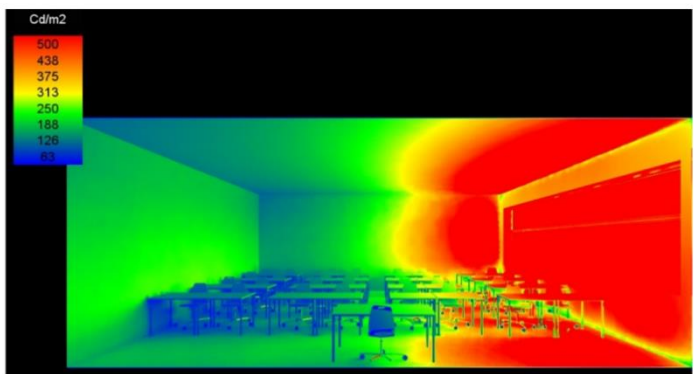
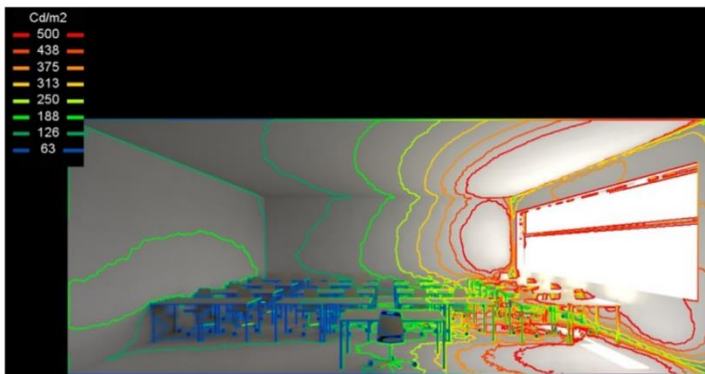
בית ספר ירוק חוסך
לאורך כ- 20 שנה
מספיק בכדי להעסיק
מורה נוספת במשרה
מלאה או לחילופין לרכוש
200 מחשבים חדשים או
5,000 ספרי לימוד
חדשים

סך התועלת
הכלכלית עבור בית
ספר ירוק עומדת על
כ- 96,750 ₪ לשנה

בתי ספר ירוקים
צורכים בממוצע 32%
פחות מים ו- 33%
פחות אנרגיה מאשר
בתי ספר
קונבנציונליים



חזית, בית ספר רקפות, קריית ביאליק. מכיל מערכת ניהול אנרגיה מתקדמת.
צילום: אלעד גוון



דוגמא לסימולציית תאורה טבעית בכיתות הלימוד, בית ספר נופי ים, תל אביב.
הדמיות: יפתח הררי אדריכלים בע"מ

ג. שיפור בביצוע מטלות לימודיות, בציונים ובתפוקות

אקוסטיקה מיטבית והפחתת רעשים

מחקרים מעידים כי בתי ספר ירוקים טובים יותר ללמידה משום שבהם מתקיימים תנאים טובים יותר התורמים להגדלת הקשב והזיכרון, המשפרים את יכולת הריכוז ושומרים על בריאותם של התלמידים בבתי הספר. מחקרים רבים מאשרים את חשיבות הפחתת רעשי רקע על רמת הדיבור ועל חשיבות התנאים האקוסטיים המתאימים ללמידה איכותית. בתי ספר ירוקים כוללים אריחי תקרה אקוסטית ותעלות מרופדות ולכן מספקים סביבה אשר מקטינה הסחות דעת, מעודדת השתתפות ומעניקים את התנאים האקוסטיים האופטימליים ללמידה (Green building council, 2017).

תקן הבנייה הירוקה עוסק בין היתר בשיפור הבידוד האקוסטי של המבנים. במחקר של ה-The Acoustical Society of America משנת 2009 נמצא קשר ישיר בין איכות האקוסטיקה בכיתות לבין ביצועי משימות למידה של תלמידים. אקוסטיקה איכותית מפחיתה כאבי ראש ומפחיתה את ההמולה בכיתות. כמו כן, בכיתות בעלות אקוסטיקה איכותית קל ונוח יותר למורים ללמד. המחקר מראה שבכיתות בעלות אקוסטיקה ירודה, תלמידים אינם מסוגלים לשמוע כ-10% מסך החומר הנלמד. מחקרים נוספים (al., 1996; Crandell & Berg et al., 1996; Smaldino, 1995; Knecht et al., 2002) תומכים בממצאים אלו. מחקר שנעשה בדנמרק השווה בין כיתות בעלות אקוסטיקה איכותית לכיתות בעלות אקוסטיקה גרועה והדגים השפעה ברורה על זיכרון התלמידים לטווח קצר, פיתוח כישורי שפה ואיכות הקשר בין מורים לתלמידים (Klatte et al., 2011).

להבדיל, במחקר אשר חשף משתתפים לרמות רעש גבוהות נמצאה ירידה של 66% בפרודוקטיביות. (World green building council, 2014) וכן בבתי ספר שבהן האקוסטיקה לקויה 65% מהמורים חווים נזקים בריאותיים כגון דלקות במיתרי הקול ואבדן קול (Durup, 2015) המשפיעים באופן ישיר הן על בריאותם והן על איכות יכולתם ללמד.

טמפרטורה

בנוסף לכך, טמפרטורות נוחות ("נוחות תרמית") משפרות את התפוקה ושומרות על התלמידים ערניים יותר. בתי ספר ירוקים שמים על כך את הדגש באמצעות אוויר צח המתחלף תדיר אשר יכול להיות מושג על ידי חלונות פתוחים או מערכות אוורור המספקים תנועה מתמדת של אוויר צח בטמפרטורה הולמת.

נמצא כי בבתי ספר ירוקים ישנו שיפור של עד כ-15% בלמידה ובפרודוקטיביות של התלמידים, ושיפור של עד כ-25% בציוני התלמידים עקב תנאים תרמיים מותאמים. מחקר אשר בחן יותר מ-21,000 תלמידים הראה מתאם בין בתי ספר מוארים טבעית לביצועי התלמידים. תוצאות המחקר הצביעו על 20% התקדמות מהירה יותר במתמטיקה, 26% התקדמות מהירה יותר בקריאה ועליה בביצועי התלמידים בין 5-10% (Chapman, 2012).

תאורה טבעית

מחקרים הראו כי מחסור בתאורה טבעית גורם לשיבוש במחזור המלטוני⁶ אצל ילדים וכתוצאה מכך, ערנות התלמידים נפגעת במהלך יום הלימודים. החשיפה לאור יום טבעי מגבירה את הערנות של התלמידים במהלך הלימודים, משפרת את הריכוז ומפחיתה עלויות האנרגיה (Kats, 2006).

⁶ מלטונין הוא הורמון טבעי המופרש על ידי בלוטת האיצטרובל (pineal body). במשך היום בלוטת האיצטרובל לא פעילה, וכאשר החשיכה יורדת, השעון היפותרמי מפעיל אותה, והיא מתחילה לייצר ולהפריש לדם מלטונין. שעת השיא של הפרשת המלטונין היא תשע בערב: רמת המלטונין בדם עולה, ואנו מרגישים פחות ערניים ויותר עייפים. הפרשת המלטונין מופחתת כתוצאה מגירוי על ידי קרני האור - לא רק של אור השמש. גם אור מלאכותי שנוצר על ידי נורת חשמל, מסך טלוויזיה מרצד ומסך מחשב, מפחית את הייצור וההפרשה של המלטונין (אתר קופת חולים כללית. עדכון אחרון: 2012).

כמו כן, אור יום מקטין את הצורך בתאורה מלאכותית והוא יכול לקצץ בהוצאות האנרגיה ב- 30-70%. מחקר "השפעת האור על ילדי בית הספר היסודי" אשר נערך באלברטה, קנדה על ידי אגף מדיניות, תכנון וחינוך של אלברטה, השווה בין הילדים הלומדים בבתי ספר יסודיים עם חשיפה גבוה יותר לאור לעומת ילדים הלומדים בבתי ספר דומים עם תנאי תאורה נורמליים. המחקר שנמשך שנתיים מצא כי תלמידים אשר נחשפו יותר לאור טבעי בבתי הספר למדו מהר יותר, נבחנו מהר יותר וסבלו מפחות היעדרות עקב מחלה. בסך הכל, תלמידי בית הספר היסודי בכיתות עם חשיפה גדולה יותר לאור יום הראו שיפור של 21% בשיעורי הלמידה בהשוואה לתלמידים בכיתות עם פחות אור יום (Olson & Kellum, 2003).

איכות אוויר

מחקר נוסף בדק את הביצועים הלימודיים של תלמידים בגילאים 10-12 והוכיח שככל שיש תחלופת אוויר בתדירות גבוה יותר (הכנסת אוויר נקי), חלה עלייה באיכות הביצועים של התלמידים (Wyon & Wargocki, 2007).

מחקר מעמיק שנערך בשנת 2003 זיהה 15 ניסויים אקדמיים המקשרים איכות אוויר טובה במבנה עם עלייה של עד 11% בפרודוקטיביות. כמו כן, ניתוח סטטיסטי של 24 מחקרים בנושא איכות אוויר העלה כי איכות ירודה של אוויר במבנים הורידה באופן עקבי את הביצועים בשיעור של עד 10% (Olson & Kellum, 2003).

תועלות בתי ספר ירוקים לשיפור בציונים ובתפוקות

בבתי ספר בעלי תאורה טבעית איכותית קיימת בממוצע 20% התקדמות מהירה יותר במתמטיקה ו-26% התקדמות מהירה יותר באיכות הקריאה

שיפור של עד כ- 15% בלמידה ובפרודוקטיביות של התלמידים, ושיפור של עד כ- 25% בציוני התלמידים עקב תנאים תרמיים מותאמים

בכיתות בעלות אקוסטיקה ירודה, תלמידים אינם מסוגלים לשמוע כ- 10% מסך החומר הנלמד



מקסום התאורה הטבעית החללים המשותפים ע"י ישום פתחי "צוהר עליון"



מיקסום התאורה הטבעית מהחזית הצפונית בחללים המשותפים



שליטה אוטומטית בתאורה ובמיזוג על ידי חישני נוכחות וחישני תאורה טבעית

**מקסום תאורה טבעית וחללים אקוסטיים, בית ספר נופי ים, תל אביב.
צילום: יפתח הררי אדריכלים בע"מ**



**כיתה אקוסטית, מאווררת ומוארת (ע"י שילוב תאורה טבעית ומלאכותית) וחלל משותף מואר
ומאוורר, בית ספר דרויאנוב, ת"א. צילום: רן ארדה**

ד. השפעה על תרבות בית הספר ועל ההון האנושי

תחושת מסוגלות

בשנת 2013, מומחים באוניברסיטת סטנפורד החלו בסקירה שיטתית של ספרות אקדמית בנושא חינוך סביבתי. המומחים סקרו מחקרים שפורסמו בין השנים 1994-2013 ומדדו את ההשפעות של חינוך סביבתי על תלמידי גן ילדים ועל תלמידים בוגרי תיכון. הסקירה מצאה באופן ברור עדות לכך כי חינוך סביבתי מפתח יכולות חשיבה גבוהות יותר, מפתח מיומנויות אקדמיות כגון חשיבה ביקורתית, יכולת קבלת החלטות ופתרון בעיות. כמו כן, חינוך לקיימות מעניק לתלמידים כישורי חיים, פיתוח וצמיחה אישית. זאת ועוד, מספר מחקרים הראו כי חינוך סביבתי מגדיל מעורבות אזרחית בתהליכים סביבתיים ומקנה התנהגות סביבתית חיובית (Stanford University & Naaee, 2013).

בניין ירוק מציג לתלמידים דוגמה מוחשית לאחריות סביבתית ומדגים את יישומה בפועל. כמו כן, בתי ספר אשר הטמיעו חינוך סביבתי ותוכניות פעולה סביבתיות הדגו חיסכון באנרגיה של יותר מ-10% והפחתת פסולת מעל 15%. בתי ספר אלה מדווחים גם על שיעור גבוה של מעורבות סטודנטים בתוכנית הסביבתית אשר יכולה להתפשט לתחומים אחרים של בית הספר. הטמעת הרגלים סביבתיים חיוביים בקרב תלמידים וסגל יכולה להשפיע באופן משמעותי גם על הטמעת התנהגות סביבתית חיובית בקרב האוכלוסייה כולה (Stanford University & Naaee, 2013).

הפילוסופיות החינוכיות של בית הספר משפיעות על חוויות התלמידים ומשתלבות בסביבת הלמידה הפיזית והבנויה. מורים ומנהלי בתי הספר המאמצים באופן פעיל את תפיסות אלו ויוצרים מודלים של אחריות ושליחות, מלמדים את התלמידים להיות אזרחים פעילים הן בקהילה והן בסביבה. כמו כן, התלמידים מפיקים תובנות על ידי התנסויות בתכנית הלימודים ובסביבה הבנויה המדגימות בצורה שקופה ערכי קיימות. תהליכים אלו כאמור מועצמים כאשר נעשים במבנה ירוק הממחיש את נושא הקיימות (Kay Barr, 2011).

שביעות רצון צוות ההוראה

מרבית מרכזי הביצוע להקמת בתי ספר נכתבים מתוך מטרה להשיג את הרמה המינימלית הנדרשת ובמחיר הנמוך ביותר. היבט זה מדאיג עקב השפעתו ארוכת הטווח על תנאי הבריאות ועל תנאי הלימוד שיתקיימו במבנה. שנית, מדינות בודדות מסדירות ברגולציה את איכות האוויר בתוך בית הספר או מספקות תקני אוורור מינימליים. מסיבה זו רוב בתי ספר כמעט ולא נבנים במטרה ליצור סביבת לימוד בריאה, עקב חוסר מודעות ולא בהכרח מהיעדר תקציב (Kats, 2015).

מורים, ככל סקטור אחר במשק, מעידים על כך כי יחסם למקום העבודה מושפע לרעה או לטובה מאיכות ותנאי סביבת העבודה (International WELL building institute). סקר הכלל 150 מורים בבית ספר ירוקים לעומת קונבנציונליים בדק את שביעות רצונם של המורים מאיכות האוויר בתוך המבנה, תאורה, נוחות תרמית, אקוסטיקה של בתי הספר שלהם ועוד. הניתוח הסטטיסטי של הנתונים העלה כי מורים בבתי ספר ירוקים היו מרוצים יותר באופן כללי מהכיתות, מאזור סביבת העבודה האישית שלהם, נוחות, איכות האוויר, מתנאי החימום, והאוורור מאשר מורים בבתי ספר אחרים כמו כן, נתון נוסף שעלה מהממצאים הוא כי שיעור היעדרות של התלמידים, המורים ושאר הסגל בבתי ספר הירוקים השתפר ב 2-7.5% (Kats, 2006).

מורים השוהים 90% ממשך שעות העבודה שלהם בתוך מבנה בית הספר זוכים באופן ישיר מכך שבמבנים שוררת תאורה טבעית משופרת, אוויר נקי ונוחות אקוסטית. כמו כן, בתי ספר ירוקים מדווחים באופן שוטף על הפחתה בתחלופת המורים. לפי ההערכה, שימור מורים בבתי ספר ירוקים מתורגם לחיסכון כספי של כ-4\$ למטר מרובע על פני תקופה של 20 שנה (Wyon & Wargocki, 2007).

השפעה על תרבות בית הספר ועל ההון האנושי

תחלופת מורים נמוכה יותר המתורגמת לחיסכון כספי של כ- \$4 למטר מרובע על פני תקופה של 20 שנה

שיעור היעדרות של התלמידים, המורים ושאר הסגל בבתי ספר הירוקים השתפר ב 2% - 7.5%

מורים בבתי ספר ירוקים מרוצים יותר מכיתות הלימוד ומאזור סביבת העבודה האישית שלהם



חצר בית ספר שטחי חוץ איכותיים, בית ספר רקפות, קריית ביאליק.
צילום: אלעד גונן.



בית הספר ע"ש שמעון פרס, כפר סבא. צילום: ליאור אביטן.

3. ביבליוגרפיה

אילון, א., טרופ, ת., פלטינק, ר., דוידוביץ, א. (2017). 'ירוק' זה כדאי? ניתוח עלות-תועלת של בתי ספר 'ירוקים' בישראל. המרכז לחקר משאבי טבע וסביבה אוניברסיטת חיפה. נדלה בתאריך 23.09.18 מתוך: <https://goo.gl/Nanivj>

Barratt Hacking, E., Scott, W., Lee, E (2010). Evidence of Impact of Sustainable Schools. Department for children, school and families. Retrieved September 22th, 2018 from: <https://goo.gl/SrAixG>

Chapman, P (2012). The Benefits of Green Schools. Retrieved September 22th, 2018 from: <https://goo.gl/bt8Y7P>

Durup, N (2015), How Classroom Acoustics Affect the Vocal Load of Teachers, London South Bank University. Retrieved January 1th, 2019 from: <https://goo.gl/BNkrft>

Earth day network (N.D).The importance of green schools. Retrieved September 22th, 2018 from: <https://goo.gl/KzGiar>

Green building council (2017). Green schools are better for learning. The center for green schools. Retrieved September 22th, 2018 from: <https://goo.gl/p1ijGf>

Green education foundation (2017). Green schools enhance learning. Retrieved September 23th, 2018 from: <https://goo.gl/auu CZq>

Green Building Council of Australia (N.D). Green schools. Retrieved September 22th, 2018 from: <https://goo.gl/6C2Zgb>

Kats, K (2005). National Review of Green Schools: Costs, Benefits, and Implications for Massachusetts. Retrieved September 22th, 2018 from: <https://goo.gl/NcCo5V>

Kats, K (2006). Greening America's Schools costs and benefits. Retrieved September 22th, 2018 from: <https://goo.gl/xGgds>

Kay Barr, S (2011). Green schools that teach: Id

Identifying attributes of whole school sustainability. Department of Design and Merchandising. Retrieved September 22th, 2018 from: <https://goo.gl/FH9ZCv>

Ministry of education (2010).Green schools resource guide, a practical resource for planning and building green schools in ontrio. Retrieved September 22th, 2018 from: <https://goo.gl/wB5vfn>

Olson, S., Kellum, S (2003).The Impact of Sustainable Buildings on Educational Achievements in K-12 Schools. Leonardo Academy Inc. Retrieved September 22th, 2018 from: <https://goo.gl/WpLNQu>

Stanford University & Naaee (N.D). Stanford analysis reveals wide array of benefits from environmental education. Retrieved September 22th, 2018 from: <https://goo.gl/bg3HyN>

Stanford University & Naaee (N.D). Environmental Education Brings Numerous Academic Benefits. Retrieved September 22th, 2018 from: <https://goo.gl/nuDkiC>

World green building council (2014). Health, Wellbeing & Productivity in Offices The next chapter for green building - Key Findings. Retrieved September 22th, 2018 from: <https://goo.gl/HSr1LG>

World green building council (2014). Health, Wellbeing & Productivity in Offices - The next chapter for green. Retrieved September 22th, 2018 from: <https://goo.gl/wh6zvo>

4. נספח א – מקרי מבחן בישראל

נספח זה כולל 4 מקרי מבחן לבני ספר ירוקים בישראל.

- א. בית הספר רקפות, קריית ביאליק
- ב. בית הספר היסודי 'דרויאנוב', תל אביב
- ג. גן ילדים מאופס אנרגיה, חדרה
- ד. בית ספר 'נופי ים' ת"א

מקרי מבחן אלו מבוססים על עדויות צוותי התכנון והביצוע של המבנים והם משלבים תובנות לבניית מבני חינוך ירוקים ומדגישים את התועלות, היתרונות והעלויות של מבנים אלו.

א. בית הספר רקפות, קריית ביאליק

בית הספר רקפות בקריית ביאליק תוכנן בראייה כוללת לטובת יצירת סביבה לימודית המיטיבה עם תלמידי בית הספר, תוך צמצום הפגיעה בסביבה. בית הספר הוא חלק מחזון העיר להקים מרחב למידה אטרקטיבי ולהשקיע בחינוך דור העתיד להיות שגרירים סביבתיים. בית הספר הוא חלק מפיילוט של המשרד להגנת הסביבה שמטרתו לעודד בניית בתי ספר ירוקים.

על הפרויקט

יזם: עיריית קריית ביאליק

מיקום: חנינית 11, קריית ביאליק

גובה: 2 קומות

שטח: 2,700 מ"ר

ייעוד המבנה: בית ספר יסודי עם 18 כיתות

תקן: ת"י 5281 חלק 4 גרסת 2011

דירוג: 2 כוכבים, 69.5 נקודות

צוות התכנון

תכנון אדריכלי: קנפו כלימור אדריכלים

תכנון נוף: א.ב. אדריכלות נוף

בניה ירוקה: אי.אי.אס מערכות מתקדמות

קונסטרוקציה: רימקס ייעוץ תכנון והנדסה בע"מ

חשמל: תל - הנדסת חשמל

מיזוג אוויר: אי.אי.אס מערכות מתקדמות

תשתיות מים וביוב: ש.עגנון ושות'

ייעוץ בטיחות ונגישות: נפתלי רון אדריכלים

תנועה: צביקה נווה

ניהול ופקוח: נתיב תיאום וניהול הנדסי

מה היתה המוטיבציה לבנות ירוק?

בית הספר הוא חלק מחזון העיר להקים מרחב למידה אטרקטיבי ולהשקיע בחינוך דור העתיד להיות שגרירים סביבתיים.

אתגרים והישגים מרכזיים

הגישה הנכונה לבניה בת קיימא היא הגישה ההוליסטית, בה השלם גדול מסך חלקיו. בהתאמה, התכנון צריך להציע סביבת חיים חדשה המקרבת את המשתמשים לטבע בנוסף לעמידה נדרשת בקריטריונים הטכניים של התקנים הירוקים. האתגר האדריכלי המרכזי היה לבנות סביבה המחברת באופן אינטגרלי בין הבנוי והפתוח תוך יצירת מקום דינמי ומרתק עבור התלמידים כך שהטבע על המגוון הרב שלו יהיה מרכזי בפעילות היומיומית. אתגר זה קיבל מענה בארגון הפרויקט לאורך שדרה מרכזית מוצללת בשטח של כ-500 מ"ר, המשמשת כ"לב הפועם" של בית הספר. לאורך השדרה שזורים עצים המשלימים את ההצללה ומחזקים את הזיקה בין האלמנטים הסטטיים הבנויים לבין הדינמיות והרכות של הטבע. הקשר המיידני בין חללי הפנים והחוץ מתממש באמצעות החצרות, הפטיו והגג הירוק. בשטחים אלו שולבו חללי לימוד בין כיתות הלימוד, בחצרות ובשטחי הגג המגוננים והמרוצפים.

הגג הירוק תוכנן על גג קומת הכניסה בנגישות ישירה מהכיתות בקומה הראשונה ועם חיבור מיידני לשדרה. שני אגפי המבנה משני צדי הציר הראשי מחוברים באמצעות שני גשרים היוצרים תנועה המשכית בין האגפים והגג הירוק. מערך התנועה בבית הספר, הכולל מדרגות וגשרים, יוצר רציפות וסביבה דינמית עבור הילדים הנעים באופן תמידי בין חללי הפנים וחללי החוץ של המבנה.

תובנות מהפרויקט

התובנות העיקריות שמלוות אותנו בפרויקט זה ובפרויקטים רבים הן הצורך לרתום את כל מקבלי ההחלטות להיות שותפים בתהליך ולהנגיש את התכנון למשתמשים. פרויקט זה נולד משיתוף פעולה פורה עם ראש העיר, מהנדס העיר וראש אגף החינוך שתמכו והאמינו בפרויקט. לקראת אכלוס בית הספר נערך מפגש עם צוות בית הספר שקיבל הסבר מקיף על העקרונות הירוקים של בית הספר ומערכותיו. למפגש זה חשיבות גבוהה בהבנת התכנים וקירובם לצוות החינוכי של בית הספר כמתווכים חיוניים לחינוך סביבתי של התלמידים.

אנרגיה

מבנה האתר והצורך האקלימי להפנות את חזיתות חללי הלמידה לכיוונים צפון ודרום, היו גורם מוביל בתכנון השדרה המרכזית כציר תנועה ראשי המקשר בין המבנים השונים והעמדת חזיתות המבנה הארוכות לצפון ולדרום. הפניה זו מאפשרת החדרת אור טבעי מבוקר ומונעת חדירת קרינה ישירה בלתי מבוקרת. התאורה הטבעית מוגברת באמצעות חלונות עיליים ובאמצעות מערכת ההצללה המשלבת מדפי אור. ההצללות מצולות בקיץ ומאפשרות כניסת חום בחורף. במבנה תוכננו חללים כפולים, רפפות, חלונות נוספים בחדרי הלימוד ומערכת פתחים עליונה לטובת העצמת האוויר הטבעי. זרימת האוויר דרך הצמחייה מסביב למבנה, בחצרות הפנימיות ובפטיו המגוון תורמת לצינון האוויר. האנרגיה במבנה נשמרת באמצעות בידוד הקירות על פי מפרט מיוחד, שימוש בזיגוג כפול ואצירת האנרגיה במבנה הודות למסה התרמית. השטחים המקורים, ביחד עם הגג ירוק, המבודד והמונע קרינה חוזרת, מסייעים למניעת איי חום ותורמים להורדת הטמפרטורה סביב המבנה. מערכת התאורה מתוכננת

להקטנת צריכה באמצעות גופי תאורה חסכוניים באנרגיה. מערכות החשמל והאנרגיה מתוכננות בשילוב עם מערכות בקרה בהתאם לתפוסת החלל.

מים

שלולית החורף המשולבת בחצר הכניסה לבית הספר משנה את פניה ואת אוכלוסייתה הטבעית לאורך עונות השנה ובזכות זאת מהווה מרחב לימוד בלתי אמצעי ומספקת השראה לתלמידים. המרחב סביב המבנה משלב צמחייה מקומית החסכונית בצריכת מים. באתר נחפרו בורות להחדרת מי נגר למי התהום.

פיתוח נופי

תכנון הנוף בבית הספר הוא חלק אינטגרלי ברעיון המוביל של שילוב הטבע, על המגוון הטמון בו, עם המבנה. החצרות תוכננו עם אפיון ייחודי לכל חצר, בהתאם לשייך לקבוצות הגיל השונות וזאת כדי לתת מבחר הזדמנויות לפעילויות מגוונות. תכנון הנוף מעודד למידה דרך משחק והתנסות ומציע עושר פעילויות. בחצר בית הספר תוכננו פינות ייעודיות ללימודי טבע, דוגמת שלולית החורף ושוחזרה צמחייה מקומית שהפכה לבית גידול משוקם ומושכת אליה פרפרים. בגג הירוק פרוסות ערוגות לגידול ירקות ועשבי תבלין, ככלי חינוכי לקידום מודעות לתזונה נכונה ולסביבה.

במסגרת תהליך ההסמכה, לפני חישוף הקרקע, נערך מבצע חינוכי במסגרתו אספו תלמידי בית הספר פקעות לצורך שתילתן לאחר הבנייה.

בריאות

חלק מרכזי בגישה התכנונית היה הקניית נוחות פיזית וסביבה בריאה לילדים. המבנה מתוכנן לשימוש מרבי בתאורה טבעית ובאוויר טבעי. החדרת התאורה הטבעית והאוויר הצח תורמים לשיפור תנאי הנוחות ולאיכות האוויר בבית הספר, להעלאת רמת הריכוז ולבריאותם של המשתמשים במבנה תוך חיסכון במשאבים. בבית הספר נעשה שימוש בצבעים ובחומרים אנטי-אלרגניים. התקרות בכל כיתות הלימוד והחללים הציבוריים הן אקוסטיות, לצורך מניעת רעשים.

חומרים ופסולת

בחומרי הבנייה שולבו חומרים ממקור ממוחזר. בחללים המשותפים ובכל כיתה תוכנן רהיט ייחודי המכיל פחי מחזור. בכניסה לבית הספר תוכנן, כחלק אינטגרלי מביתן הכניסה, מרכז מחזור להפרדת פסולת. במהלך הבנייה הופרדה פסולת בניין לטובת מחזורה, לצורך שימוש חוזר במרכיבים שונים אשר היוו חלק מחומרי הבנייה באתר.

תחבורה

בית הספר ממוקם בסמוך לשביל אופניים שכונתי ובכך מעודד רכיבה על אופניים לבית הספר. באזור הכניסה תוכננה רחבה מקורה לחניית אופניים ובמבנה שולבו מקלחות לרוכבים.

הטמעת פתרונות יצירתיים ומעוררי השראה בתכנון הפרויקט ובביצועו

הרעיון התכנוני המוביל נרקם סביב הענקת פתיחות לטבע ושילוב רב-גוני בין חללי החוץ ואזורי הלימוד, המאפשרים יצירת תווך למרחבי למידה ולאזורי פעילויות בלתי פורמליים. חללים אלו מעניקים ערך מוסף לחוויית הלמידה בזכות מגוון אפשרויות להתנסות במרחב דינמי, הנוצר באמצעות המיידיות בין חלקי המבנה הבנויים לטבע המשולב בו. מיידיות זו המתאפשרת הודות לסמיכותם ובזכות מערך התנועה התלת-ממדי.

המבנה הדו-קומתי תוכנן לתכסית נמוכה לטובת גיבון ושטחים מחלחלים. הקומה השנייה, המרחפת בחלקה על פני קומת הכניסה, מצלה על אזורי חוץ פעילים ומאפשרת לשטח הפתוח

לפלוש למבנה. הגג הירוק והשטחים המקורים יוצרים מוקדי פעילות מוצלים נוספים לילדים, המתפקדים כשטחי חוץ שימושיים. תכנון החלקים המרחפים מצמצם את התכסית ותורם לשמירת שטחי הקרקע בעוד שהגג הירוק "מחזיר" שטח ירוק מעל לקומה הבנויה.

הטמעת חדשנות בפרויקט

תכנון ירוק למען העתיד: הילדים הם השגרירים הטובים ביותר ליצירת עולם המושתת על ערכים של אהבה לזולת ולסביבה. הפרויקט מציע תכנון המתחשב במכלול רחב של נושאים, המבטיח יצירת סביבת לימודים נוחה ומיטיבה עם התלמידים, תוך שמירה על המערכת האקולוגית. חינוך הוא המפתח לקיום חברה ערכית. על כן, קיום בית ספר ירוק, הממחיש באופן פיזי את עקרונות הבנייה הירוקה והמחנך לערכים, הוא נדבך חשוב בצורך החיוני של אימוץ עקרונות הקיימות לטובת יצירת חברה בריאה, התורמת לאיכות הסביבה ולערכים של צדק חברתי.

ב. בית הספר היסודי 'דרויאנוב', תל אביב

בית הספר ממוקם באזור מופר ששימש מוסכים ומבני תעשייה. במסגרת הפרויקט בוצע סקר מזהמים ולאור הממצאים הבעייתיים ננקטו אמצעים מורכבים שאפשרו את בניית ביה"ס. בנוסף בוצע תכנון מקיף ואינטגרטיבי של הפתחים לטובת אוורור ותאורה טבעיים מרביים, תוך מניעת סנור ושמירה על בידוד תרמי איכותי. תכנון המרפסות ושטחי הגינון נועד לאפשר פעילות פדגוגית וקהילתית.

על הפרויקט

יזם, קבלן מבצע: אחוזת החוף בע"מ

מיקום: רחוב אליפלט 18, שכונת פלורנטין תל אביב

שטח: 3,300 מ"ר בנוי

גובה: 3 קומות

תקן: ת"י 5281 גרסת 2011 (גליון תיקונים 2014)

דירוג: 2 כוכבים, 68 נקודות

צוות התכנון

אדריכלות - אורית אורנת ורות שפירא

אדריכלות נוף - טל רוסמן

בנייה ירוקה - תמי הירש אדריכלים

מה הייתה המוטיבציה לבנות ירוק?

המוטיבציה הראשונית לבנייה הירוקה נבעה מהנחיה מרחבית של עיריית ת"א להסמכת מבנים לתקן בנייה בת קיימא בתחומה באמצעות ת"י 5281. בשלב מתקדם הפרויקט נבחר לפיילוט של המשרד להגנת הסביבה ואף הוקצה לו תקציב נוסף - דבר שהגדיל באופן משמעותי את שיתוף הפעולה של כל המעורבים בפרויקט להשגת היעדים באופן מיטבי.

עלויות

בוצע אומדן טכנו כלכלי לביורור העלויות הנדרשות והתועלות בגינן. נמצא כי העלות הנוספת עבור מרכיבי הבנייה הירוקה בבתי ספר בתל אביב עומדת על 183 ₪ למ"ר, שהינה כ- 2.5% מעלות בניית בית הספר. הנתונים הוצגו במחקר של נגה לב ציון נדן (2013), "עלויות בבניית בתי ספר בבנייה ירוקה", ופורסמו במחקר המועצה הישראלית לבנייה ירוקה (יוני 2015), "עלויות ותועלות של בנייה ירוקה בישראל ובעולם".

אתגרים והישגים מרכזיים

האתגר המרכזי המהווה גם הישג סביבתי וקהילתי, הוא מיקום בית הספר באזור מופר ששימש מוסכים ומבני תעשייה. במסגרת הפרויקט בוצע סקר מזהמים ולאור הממצאים הבעייתיים ננקטו אמצעים מורכבים שאפשרו את בניית ביה"ס. התנגדות התושבים לבנייה על שטחים פתוחים ועל גינת כלבים בשטח הפרויקט יצרו אתגר נוסף בתהליך התכנון. כתוצאה, העירייה בתיאום עם התושבים וצוות הפרויקט, הקצתה שטחים חלופיים קרובים עבור התושבים. כמו כן, תוכננו בשטח הפרויקט שטחים פתוחים לרווחת הקהילה ובהם מגרשי ספורט, אזורי משחק מוצלים ושטחי גינון איכותיים.

תפקיד חשוב ומאתגר ליצירת נוחות ותנאים אקלימיים אופטימליים לתלמידים ולחיסכון באנרגיה, היה תכנון הפתחים בחזיתות המבנה ובעיקר תכנון החלונות בכל הכיתות. התכנון התבסס על ניתוח מעמיק שכלל הדמיות דינאמיות של עשרות חלופות שנבדקו יחד עם אדריכלי הפרויקט עד להשגת מידות מדויקות של הפתחים הרצויים, הרכב זיגוג מומלץ ורכיבי הצללה אופטימליים מבחינה אקלימית. החלונות הכיתתיים נראים בחזיתות הצבעוניות כאלמנטים בולטים ומשמעותיים.

תובנות מהפרויקט

1. בכל פרויקט קיימים פערים בין התכנון הסופי הכולל רכיבים שמתוכננים, מתומחרים ומהווים חלק מהמכרז - לבין הביצוע בפועל. בפרויקט זה, ההצללות אשר נבנו לחלונות לא תאמו במלואן את התכנון וכמו כן לא הותקנה מערכת השליטה והבקרה (BEMS) שתוכננה.

2. בניתוח שנערך לאחר סיום הפרויקט נבחנה האפשרות להגיע לאיפוס אנרגטי של מבני חינוך, באמצעות הערכת התוספות הנדרשות בכדי להשיג מטרה זו. המסקנות העיקריות שעלו והוגשו לעיריית תל אביב הן:

א. צמצום משמעותי בצריכת האנרגיה באמצעות:

- תוספת בידוד בעלות מזערית שבכוחה להעלות את הדירוג האנרגטי של הבניין מ-B ל-A
- תוספת מערכת אוטומטית לשחרור אוויר חם מחלונות בשטחים המשותפים בריבוד תרמי
- שינוי גופי התאורה בכיתות לתאורת LED במקום פלורסנט

ב. יצירת אנרגיה ממקורות חלופיים: כיסוי הגג בפאנלים פוטו-וולטאים לצורך ייצור אנרגיה בהיקף כזה אשר ישרת את כל צריכת האנרגיה השוטפת של הבניין.

אנרגיה

התקיים שיתוף פעולה נרחב בין צוות התכנון ויועצי הבנייה הירוקה באפיון בידוד מיטבי על מנת לעמוד בדירוג אנרגטי B. התהליך כלל תכנון מפורט של פתחים והצללות לאופטימיזציה של חימום ואוורור פאסיביים, תאורה טבעית ומניעת סנוור. בנוסף שולבו מערכת מיזוג אוויר ומערכת תאורה חסכוניות באנרגיה ומערכת חכמה לכיבוי אוטומטי שמביאה לחיסכון נוסף.

מים

הקבועות הסניטריות נבחרו עם רכיבים אלקטרוניים. במבנה בית הספר הותקנו ברזים, אסלות ומשתנות אלקטרוניות חכמות וחסכוניות שהביאו לחיסכון של 50% בשימוש במים שפירים, ביחס לצידוד רגיל (על פי אומדן של יועץ האינסטלציה). שטחי הגיבון הנרחבים בפרויקט מושקים באמצעות מי עיבוי מזגנים, מושבים מהבניין, שאפשרו את הרחבת שטחי המדשאות לטובת הקהל הרחב. כתוצאה מזה, על אף שטחי המדשאות הנרחבים, הושג חיסכון של 50% בצריכת המים יחסית לגינת הייחוס. זאת בשל השילוב של מי עיבוי המזגנים להשקיה עם צמחייה חסכנית ועם הצללות רבות בשטחי הפיתוח המסייעות לצמצום איבוד מים באידוי.

פיתוח נופי

בשטחי הפיתוח שולבו עצי צל והצללות רבות מבד לצורך יצירת נוחות אקלימית לתלמידים, וצמצום אי החום העירוני. בחירת עצים נשירים ושילובם בשטחים מרכזיים מאפשרים הצללה בקיץ וחשיפה לשמש חורפית. הצללות הבד מוסרות בחורף.

מי הנגר טופלו במסגרת המגרש, חלקם מופנים לשטחים מגוננים בשיעור של כ-20% מהמגרש. שאר מי הנגר מטופלים באמצעות 4 בורות חלחול שנקדחו במגרש.

בריאות

המבנה תוכנן באופן המעודד אוורור מפולש. בכל הכיתות, בקיר החיצוני ובפרוזדור הותקנו חלונות שניתנים לפתיחה בשני כיוונים מנוגדים, כמו גם חלונות קיפ אוטומטיים בחלק העליון של החלל המרכזי לצורך שחרור אוויר חם בריבוד תרמי. בשל כך, גם הכיתות וגם החלל המרכזי מאווררים ומוארים באופן טבעי. נוסף על כך, החלל המרכזי מבודד אקוסטית ומאפשר קיום אירועים המאפשרים צפייה מהמרפסות בקומות העליונות.

בבניין נעשה שימוש בחומרי בנייה רבים בעלי תו תקן ירוק, וחומרי גמר פנימיים ללא תרכובות אורגניות נדיפות (VOC) על פי רשימה מוגדרת מראש שאפשרה למבצעים גמישות בבחירת החומרים.

אופניים

בתוך שטח בית הספר הותקנו 50 מתקני חניה המתאימים ל-100 זוגות אופניים.

הטמעת פתרונות יצירתיים ומעוררי השראה בתכנון הפרויקט ובביצועו

תכנון המרפסות ושטחי הגינון נעשה מראש בחשיבה קדימה כדי לאפשר פעילות פדגוגית וקהילתית - הן על ידי תלמידי בית הספר במסגרת לימודי הקיימות במוסד, הן במסגרת הצהרון בדגש סביבתי המתקיים בבית הספר כל יום, והן על ידי משפחות ופעילים מהקהילה המקומית. לדברי מנהלת בית הספר, בבית הספר ישנה עשייה רבה בנושאי הקיימות, במיקוד על קיימות אורבנית וניצול שטחי ציבור לצורך גינון לתועלת הקהילה בפלורנטין. כל זאת כאמור באזור מופר ששימש בעבר מוסכים ומבני תעשייה.

הטמעת חדשנות בפרויקט

בוצע תכנון מקיף ואינטגרטיבי למציאת פתרונות לנוחות התלמידים והצוות. תכנון מדויק של הפתחים לאוורור ותאורה טבעיים מרביים, תוך מניעת סנוור ושמירה על בידוד תרמי איכותי.

ג. גן ילדים מאופס אנרגיה, חדרה

זהו הפרויקט הראשון בישראל שהשלים שנה של מאזן אנרגיה חיובי במסגרתו הבניין מייצר יותר אנרגיה מהאנרגיה שהוא צורך. כל זאת בזכות שילוב של אסטרטגיות פסיביות, מערכות חסכוניות, התקנה של מערכת לייצור אנרגיה מתחדשת ומעורבות פעילה של משתמשי הבניין - ילדים וצוות חינוכי.

על הפרויקט

יזם, קבלן מבצע: החברה הכלכלית חדרה

מיקום: שכונת עין הים, חדרה

שטח: 250 מ"ר

גובה: חד קומתי

סוג: מבנה מאופס אנרגיה

צוות התכנון

ניהול תכנון, ותכנון מאופס אנרגיה: אלפא פרויקטים ירוקים בע"מ

אדריכלות: היידי ארד

מיזוג: וישקין מהנדסים

חשמל: בר עקיבא

קונסטרוקציה: גלזר קונסטרוקציה

מה היתה המוטיבציה לבנות ירוק?

העיר חדרה הגדירה את עצמה כעיר האנרגיה ובחרה לבצע פרויקט חינוכי של גני ילדים מאופסי אנרגיה. הצוות החינוכי של הגן נרתם למהלך כבר בשלב מוקדם, והילדים וההורים שותפים פעילים לנושאי הקיימות והחיסכון באנרגיה.

אתגרים והישגים מרכזיים

האתגר המרכזי היה תכנון של מבנה מאופס אנרגיה קרוב ככל הניתן לתקציב הסטנדרטי שניתן על ידי משרד החינוך, קרי תכנון וביצוע בניין מאופס אנרגיה בעלות הנמוכה ביותר בגדר האפשר. הפרויקט הסופי הושג בעלות נוספת של 7-8% מתקציב הפרויקט. מטרה נוספת הייתה יצירת מרחב ביופילי אשר מאפשר אווירה מיטבית לפעילות חינוכית.

תובנות מהפרויקט

1. התכנון האינטגרטיבי של הפרויקט הוא אשר אפשר מוצר ברמה גבוהה מאד מבחינת יעילות אנרגטית ובנייה ירוקה. האינטגרטורים של צוות התכנון היו יועצי הבנייה הירוקה.
2. ניתן להגיע לבניין מאופס אנרגיה למבנה חד-קומתי ע"י תכנון אינטגרטיבי מוקדם ונכון, ובתוספת עלויות שלא עוברות את ה- 8% מעלות הבנייה.
3. ייצור מתועש צפוי להוריד עלויות לרמה מקובלת של תוספת 2%-3% לעלות הבנייה.
4. השילוב של מבנה מאופס אנרגיה עם מבנה חינוך מספק הזדמנות לפעילות פדגוגית ענפה ולהשתתפות פעילה של הצוות החינוכי בתפעול הבניין.
5. התוצרים של היעילות האנרגטית ושילוב של עקרונות ביופיליים הם המרשם לבנייה המיטיבה עם המשתמשים ותפקודם במרחב.

אנרגיה

הגנים תוכננו בתכנון פסיבי סולארי קלאסי כולל התייחסות להעמדה של המבנים, בידוד מוגבר, הצללות וגודל הפתחים. בנוסף מערכת המיזוג שהותקנה היא מסוג אינוורטר חסכונית במיוחד, מערכת התאורה היא LED ובמבנה הותקנה מערכת בקרה מתוככמת. במבנה הותקנו בנוסף מאזורי תקרה וגלאי אור יום אשר מווסתים את התאורה המלאכותית.

בדיקה שנערכה באמצעות מערכת ניטור האנרגיה של המבנה הוכיחה כי המבנה יוצר מאזן אנרגיה חיובי על בסיס שנתי. צריכת האנרגיה של המבנה בשנת 2017 עמדה על 11.1 MWh ואילו ייצור האנרגיה עמד על 13.8 MWh. מכאן שהבניין ייצר כ-24% יותר אנרגיה משהוא צרך.

מים

בפרויקט נעשה שימוש בברזים ומכלי הדחה חסכוניים. הצמחייה ששולבה בגינון הייתה צמחיה מקומית.

פיתוח נופי

גינת ירק משולבת בפיתוח הנוף.

בריאות

נעשה שימוש בחומרים ירוקים בעלי תכולה נמוכה של תרכובות אורגניות נדיפות (VOC). כמו כן, במבנה הותקנו גלאי CO₂ אשר מטרתם להזהיר כאשר ריכוזי הפחמן בחלל הפנים עולים. לטובת אוורור המבנה הותקנה מערכת אוורור המורכבת מארובות תרמיות.

הטמעת פתרונות יצירתיים ומעוררי השראה בתכנון הפרויקט ובביצועו

מערכת הארובות התרמיות מחוברת למערכת הבקרה של הבניין, ובעזרת פתיחה וסגירה של דמפרים מתאפשר אוורור טבעי בעונות המעבר והפחתת התלות במיזוג.

הטמעת חדשנות בפרויקט

זהו הפרויקט הראשון בישראל אשר השלים שנה של מאזן אנרגיה חיובי. הפרויקט התניע מעגלי השפעה רחבים הרבה יותר כמו מעורבות של העיריה, של מחלקת החינוך, של ההורים וכמובן של הילדים. הפרויקט זוכה לביקורים וסיורים של קבוצות אנשי מקצוע מהארץ ומחו"ל ואנו רואים בו חלוץ לקראת יישום נרחב של בנייה מאופסת אנרגיה בישראל.

ד. בית ספר 'נופי ים' ת"א

בי"ס נופי ים בת"א הינו הפרויקט הראשון בארץ שקיבל את תקן הבניה הירוקה הישראלי, ומבנה החינוך הראשון בארץ שמקבל תו תקן בנייה ירוקה, וככזה הוא חלוצי ופורץ דרך. המבנה מהווה דוגמא ליישום רעיונות שהיו באותו העת תיאורטיים עבור מבני חינוך והוכיח את ישימותם והתועלת הנובעת מהן.

מידע כללי

בית ספר נופי ים, תל אביב.

תקן: ת"י 5281, גרסת 2011.

גרסת התקן: בנייני מוסדות חינוך - חלק 4.

ניקוד/ מס' כוכבים: כוכב אחד.

נתוני הפרויקט:

יזם: יזם עיריית תל אביב.

גודל: בית ספר בן 18 כיתות + 2 גני ילדים יסודי.

ייעוד המבנה: בית ספר וגני ילדים וכן ספריה המשמשת גם את בית הספר וגם את הקהילה.

צוות התכנון:

תכנון אדריכלי – אדר' פרלה קאופמן.

יועץ בנייה ירוקה - יפתח הררי אדריכלים בע"מ.

ניהול הפרויקט: החברה למשק וכלכלה של השלטון המקומי בע"מ.

ייעוץ מטעם עיריית תל אביב: אדר' אוריאל בבצ'יק

הישגים משמעותיים

זהו פרויקט החינוך הראשון בארץ שקיבל תקן בנייה ירוקה, מבנה אשר הושגה בו התאמה אקלימית איכותית תוך שילוב אלמנטים מגוונים מעולם הבנייה הירוקה, שבזמנו היו חדשניים בישראל. מכיוון שמבנה זה פעיל מספר שנים ניתן ללמוד ממנו כיצד שילוב נכון של עקרונות הבנייה הירוקה משדרג את המבנה, הן מבחינת חיסכון באנרגיה ומים והן מבחינת חווית המשתמש.

אתגרים

האתגר המרכזי היה עצם בניית מבנה חינוך ירוק וחדשני בזמנו, שעומד בדרישות התקן שהיה גם הוא חדש לחלוטין וטרם נבחן בפועל. מעבר לכך השאיפה הייתה ליצור מבנה שעובד ומתפקד ומהווה אב טיפוס למבנה חסכוני בריא וירוק.

אנרגיה

להלן הנקודות המרכזיות אשר הפכו את בית ספר נופי ים למבנה פורץ דרך בהיבט היעילות האנרגטית:

- התאמה אקלימית אופטימאלית קלאסית הכוללת לדוגמה את הפניית כלל הכיתות לחזית הדרומית.
- יישום מדפי תאורה, מיקסום התאורה הטבעית וניצול פסיבי של אנרגיה סולארית.
- שיפור משמעותי של הבידוד התרמי של מעטפת המבנה, כולל שימוש ב"קירות מאווררים", בידוד תרמי של גגות המבנה.
- בחירת זיגוג סלקטיבי מבודד הממקסם את מעבר התאורה הטבעית, מונע בוהק וסנוור ומוריד משמעותית את כניסת החום לחללי המבנה בעונה החמה.
- מעבר להיבטים הפאסיביים, יושמה תאורה מלאכותית חסכונית באנרגיה אשר תוכננה על ידי אופטימיזציה ממוחשבת וכללה מערכות שליטה אוטומטיות חכמות אשר שולטות בתאורה המלאכותית ביחס לנוכחות התלמידים ורמת התאורה הטבעית בחללי הלימוד.
- הותקנה תאורת חוץ אשר מונעת "זיהום אורי" המשפיע על החי והסביבה.
- הותקנה מערכת מיזוג חסכונית באנרגיה הכוללת מערכת אויר צח עצמאית לשיפור בריאותי של חללי הלימוד.

כאמור עקב היותו של הפרויקט חלוצי, ניתן היה להשתמש בו כאמצעי לבחינת התיאוריה מול הפרקטיקה, ובאופן נקודתי בתחום האנרגיה.

מים

במבנה הותקנו ברזים ומזרמי אסלה אלקטרוניים למקסום החיסכון במים וכאלמנט לימודי חינוכי. כמו כן מתבצע במבנה שימור מי נגר עילי הכולל ריצוף מחלחל בכל שטח חצר בית הספר. בזמנו היה הדבר חדשני לחלוטין והיווה אב טיפוס למבנים עתידיים.

פיתוח נופי

המבנה כולל פיתוח נופי אקלימי עם דגש על חיסכון במים ואוורור טבעי באזורי השהייה החיצוניים. כמו כן הותקנו הצללות באיזורי השהייה ובכיתות חוץ המאפשרות לימוד באוויר הפתוח. הפיתוח הנופי בוצע באמצעות חומרי פיתוח ממוחזרים. בנוסף הוצבו חניות אופניים ופינות מחזור.

בריאות

במהלך התכנון והבנייה הושם דגש על יישום חומרי בנייה וגמר אחראיים ובריאים נושא חדש לחלוטין באותה העת. כמו כן יושם שימוש בצבעים ובתקרות אקוסטיות בריאות בעלי אפס פליטות VOC (תרכובות אורגניות נדיפות - שנחשבות כמזיקות). לצד אלו, תכנון הבניין התייחס למניעת קרינה אלקטרומגנטית וכן בוצעה בדיקת המבנה לאחר ביצוע.

פדגוגיה ואקלים בית ספרי

התחום הירוק הווה חלק קריטי בהליכי הלימוד הפדגוגי גם בתוכן במערכי שיעור לגילאים השונים וגם ביישום אלמנטים הסברתיים באזורים הציבוריים של המבנה.

חדשנות

בפרוייקט יושמו הדמיות אנרגיה ממוחשבות, חישובים והדמיות של זרימת אויר CFD (Computational fluid dynamics) - אופטימיזציה ממוחשבת של תאורה מלאכותית ותאורה טבעית שהיו חדשניות וייחודיים באותה העת.

תובנות ולקחים

כאמור המבנה הוכיח את יישום כל האלמנטים הירוקים במבנה חינוך ועמידה בדרישות התקן החדש. המרכזיים שבהם:

- תכנון מבנה אקלימי אופטימאלי.
- יישום בידוד תרמי משופר במבנה.
- יישום תאורה חסכונית באנרגיה עם מערכות שליטה של סנסורים גם ביחס לנוכחות התלמידים בחלל וגם ביחס לתאורה הטבעית, כולל שליטה ברמת התאורה.
- שילוב מערכת אוויר צח במבנה – בית הספר הראשון בארץ בו שולבה מערכת כזו.
- מקסום התאורה הטבעית ע"י הגבהת המבנה והתקנת חלונות גדולים עם הצללת מדף תאורה.
- יישום חומרי גמר בריאים ומקומיים.

כתוצאה מתובנות אלו חלחלה ההבנה כי בנייה ירוקה אפשרית במבני חינוך וכי היא ניתנת ליישום בתוספת סבירה של עלויות.