



Research article

מאמר מחקר

פרויקט הקמת גן אקולוגי לחינוך סביבתי באמצעות כלים מוחשיים-חוויתיים

ח' פרימן

הפקולטה להנדסת חשמל, HIT מכון טכנולוגי חולון

פרטי התקשרות: henf@hit.ac.il

ת ק צ י ר

צריכת האנרגיה העולמית מבוססת על פחם, על נפט ועל גז טבעי, שהם דלקים מחצביים ומתכלים, והשימוש בהם מזהם את הסביבה. ישנם מקורות אחרים לאנרגיה, כמו רוח ושמש, שהם מקורות מתחדשים שאינם מזהמים. בגן האקולוגי משולבים מתקנים המדגימים אנרגיות מתחדשות, שנשענות על עקרונות מדעיים של המרת אנרגיה. הביקור בגן הוא חלק מהחינוך הסביבתי המוקנה בכלים מוחשיים וחוויתיים. בהקמת הגן האקולוגי השתתפו סטודנטים להנדסה ועיצוב מ-HIT מכון טכנולוגי חולון ותלמידי בית הספר היסודי רביבים בחולון.

מילות מפתח:
גן אקולוגי
הנדסת חשמל
חינוך סביבתי
אנרגיה מתחדשת

The Ecological Garden for environmental education through experiential tools

H. Friman

Faculty of Electrical Engineering, HIT Holon Institute of Technology

Correspondence: henf@hit.ac.il

ABSTRACT

World energy consumption relies heavily on coal, oil, and natural gas. Fossil fuels are non-renewable, that is, they rely on finite resources that will eventually dwindle, becoming too expensive or too environmentally damaging to retrieve. In contrast, renewable energy resources, such as wind and solar energy, are constantly replenished and will never run out. The Ecological Garden represents alternative energy installations that demonstrate scientific principles of energy conversion. Visiting the garden is part of the environmental education. Students from both the Faculty of Electrical Engineering and the Faculty of Design, HIT Holon Institute of Technology together with Revivim Elementary School students in Holon participated in the design and construction of the Ecological Garden.

Keywords:

Ecological garden
Electrical engineering
Environmental education
Renewable energy

1. מבוא

רביבים בחולון. הפרויקט חשף בפני קהילת בית הספר הן את הצורך והן את היכולת לשנות את העתיד – לקראת עתיד נקי ובריא יותר. בניית הגן האקולוגי שימשה את בית הספר ככלי מוחשי לחינוך סביבתי לצורך היכרות עם תהליכי הפקת אנרגיה שאינם מזהמים את הסביבה. הפרויקט נוהל בהנחייתם המקצועית של ד"ר חן פרימן מהפקולטה להנדסת חשמל במכון ושל המרצה יאשה רוזוב מהפקולטה לעיצוב. בביצועו השתתפו 12 סטודנטים להנדסת חשמל ו-4 סטודנטים לעיצוב. מבית הספר היסודי רביבים בחולון נבחרו על ידי הצוות החינוכי 28 תלמידים מכיתות ה-1, שלקחו חלק פעיל בהקמת הגן. הפרויקט מומן במשותף על ידי HIT מכון טכנולוגי חולון והוועדה לתכנון ותקצוב של המועצה להשכלה גבוהה בסיוע תשתיות של בית הספר ושל עיריית חולון.

1.2 מטרת הפרויקט

הפרויקט משקף את שאיפתם של HIT מכון טכנולוגי חולון ושל מרכז המצוינות אנרגיות חלופיות ורשת חכמה, להיות גורם מעצב ומוביל תהליכים סביבתיים וחברתיים, שיקדמו סולידריות חברתית ושיתוף בידע ובחדשנות אקדמית בתחום האנרגיה. הפרויקט מבטא את מחויבותו של המכון לשילוב מצוינות אקדמית בעיר חולון ולמעורבות חברתית פעילה בתוך הקהילה ולמענה.

אחת ממטרות הפרויקט הייתה מיצובו של המכון הטכנולוגי כגורם מוביל של תהליכי שינוי חברתי. המכון שואף לפתח ולהפיץ ידע לשינוי חברתי בנושא אנרגיות מתחדשות, לקדם סולידריות חברתית בישראל ולמסד את התכנית כמסגרת פעולה משותפת וארוכת-טווח לאקדמיה ולקהילה. השפעת המכון על המדיניות הסביבתית-חברתית היא באמצעות התארגנות רחבה של חוקרים ומרצים, של סטודנטים, של סגל בית הספר, של תלמידים ושל הקהילות המשתתפות בתכנית.

1.3 שותפות אקדמיה-קהילה

הפרויקט, שכולל תכנון, פיתוח והקמה של גן אקולוגי, הוא התממשות השילוב של תאוריה ופרקטיקה, של הוראה ומחקר ושל אקדמיה וקהילה. שילובים אלה נועדו לתת למכון הטכנולוגי ולמרכז המצוינות מעמד חשוב בעיצוב תהליכים סביבתיים-חברתיים בחולון ובישראל כולה. זהו פרויקט דינמי, שהתפתח על פי צרכים שזוהו תוך כדי פעולה (reflection on action), והוא פעל על פי מודל התערבות ייחודי, מבוסס ידע ומבוסס קהילה (knowledge and community based). בסיום הפרויקט בוצע סקר הערכה כדי לבחון את ההשפעה החברתית שלו ואת יעילות ההתערבות (Hart and Northmore, 2010).

שיתופי פעולה בין מוסדות להשכלה גבוהה לבין קהילה הם תופעה הולכת ומתרחבת, שמקורה בשינויים חברתיים, כלכליים ומוסדיים. מיזמים אלה, המושתתים על עקרונות השתתפות (participation) ושוויון (equality), מציעים דגם חלופי של יחסי כוח בין מגזרים חברתיים שונים, והם מקור עשיר לפיתוח ידע בתחומים רבים, כגון סביבה, אנרגיה, בריאות, פיתוח מנהיגות קהילתית ועוד (Carlton et al., 2009).

המחסור במקורות אנרגיה נקיים הוא אחד האתגרים הגדולים ביותר, שהאנושות ניצבת בפניהם. כיום יש הסכמה רחבה שהפקת אנרגיה ממקורות מחצביים-מזהמים בקצב הולך וגדל היא סכנה מוחשית לסביבה ולהתפתחות האנושית. על כן ישנו צורך אמיתי ודחוף להנך את הקהילה לעקרונות של שמירה על הסביבה ולהתייעלות אנרגטית. בד בבד יש לפתח מקורות אנרגיה מתחדשים, שאינם מזהמים ושאיןם פוגעים בסביבה. תחום האנרגיה המתחדשת עוסק בלימוד ובמחקר של מקורות האנרגיה העתידיים, ומגוון היבטים של המחקר העכשווי בתחומי ההנדסה והאנרגיה הם הבסיס למדע, להנדסה ולטכנולוגיה של המחר.

בשנת 1998 אישרה ממשלת ישראל החלטה של הוועדה לענייני איכות הסביבה וחומרים מסוכנים: הממשלה תקדם פיתוח טכנולוגיות לניצול יעיל של אנרגיות מתחדשות, שיביאו להפחתת התלות בדלק מיובא ולהקטנת זיהום הסביבה. בשנת 2002 התקבלה החלטה נוספת בממשלה, ולפיה יש לעודד הקמה והפעלה של מתקני חשמל ותחנות כוח לייצור חשמל באמצעות אנרגיות מתחדשות. ביוני 2011 נפתח בפקולטה להנדסת חשמל ב-HIT מכון טכנולוגי חולון מרכז מצוינות לאנרגיות חלופיות ורשת חכמה. מטרת המרכז הן לעודד את המחקר ואת היצירה בתחום האנרגיה ולקרב אליו את הסטודנטים ואת אנשי הסגל מהדיסציפלינות ומהפקולטות השונות.

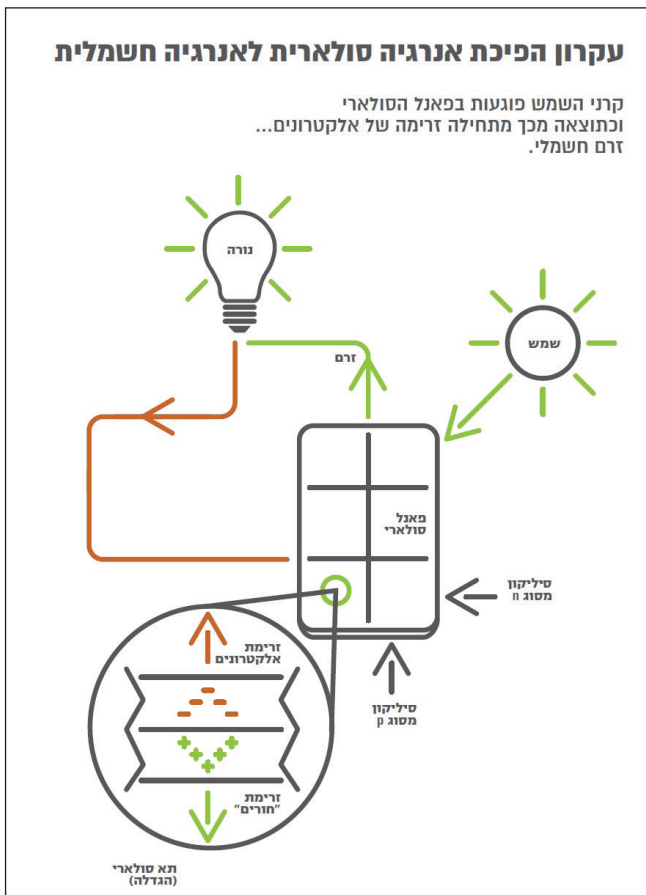
כחלק מהמאמץ לקרב סטודנטים לתחום האנרגיה החלה לפעול בפקולטה להנדסה של המכון המעבדה לאנרגיות חלופיות. המעבדה מקנה לסטודנטים את הכלים הבסיסיים להכיר, להבין ולתכנן מערכות אנרגיה חלופיות. הוראת הסטודנטים הלומדים במעבדה היא הוראה מתוקשבת – זוהי מעבדה ללא נייר. למעבדה אין חוברת מעבדה, וכל הרקע המדעי הדרוש לסטודנט לפני ביצוע הניסוי ובמהלכו נמצא במערכת אינטרנטית הנקראת "מודל" (moodle). הסטודנטים דיווחו כי הוראה שכזו מתאימה להם ומסקרנת אותם, והם היו רוצים שהשיטה תיושם גם במעבדות אחרות במסגרת לימודיהם האקדמיים (Friman et al., 2016).

1.1 רציונל הפרויקט

החינוך המדעי טכנולוגי בבתי הספר היסודיים נדרש להתחדש ולהתעדכן (Osborne and Dillon, 2008). יש עדויות לכך שלדעת תלמידים הלימוד בבית הספר בנושאי מדע וטכנולוגיה משעמם ומפגר אחר המציאות הטכנולוגית (Lyons, 2006; Sjøberg and Schreiner, 2006). בשנת הלימודים תשע"ו הוחלט ב-HIT מכון טכנולוגי חולון ובמרכז המצוינות לאנרגיות חלופיות ורשת חכמה לצאת מגבולות הקמפוס, ובמסגרת פרויקט המעורבות החברתית לתרום לקהילה באמצעות חינוך סביבתי שיבוצע בכלים מוחשיים וחוויתיים.

מחקרים הראו כי לימוד חווייתי מחוץ לכיתה יכול לתרום רבות לתלמידים אף יותר מאשר לימוד פרונטלי בכיתה (Bamberger and Tal, 2008; Falk and Dierking, 2000). הפרויקט שכולל תכנון, פיתוח והקמה של גן אקולוגי, נועד להנגיש לקהילה את הידע האגור באקדמיה בנושא אנרגיות חלופיות, והוא יושם בבית הספר היסודי

הפוגעת בפאנל יוצרת זרם חשמלי, פוטו-זרם. עקרונות הפעולה של המוליך-למחצה הנמצא בפאנל הסולרי, הוצגו לקהילת בית הספר באמצעות תרשימים פשוטים (איור 2).



איור 2: סכמה המדגימה את העיקרון המדעי של פעילות פאנל סולרי

פאנל סולרי הוא התקן צומת P-N אלקטרוני טיפוסי, שהופך את אנרגיית השמש לאנרגיה חשמלית על בסיס עקרון הפעולה של האפקט הפוטו-וולטאי. כאשר אור פוגע בפאנל, פוטונים בעלי אורכי גל מסוימים נקלטים בהתקן, ונוצרים נושאי מטען: אלקטרונים וחורים. נושאי המטען נעים בפעופע (דיפוזיה) אל הצומת, שבו שורר שדה חשמלי חזק, שם מופרדים האלקטרונים והחורים על ידי השדה החשמלי, ויוצרים זרם במעגל החיצוני. הזרם, שנקרא פוטו-זרם, תלוי בעוצמת הפוטונים הפוגעים ובאופי המוליכים-למחצה היוצרים את הצומת. יתרונם הגדול של הפאנלים הסולריים הוא ביכולתם להפוך אור לחשמל באופן ישיר, ללא זיהום, ללא רעש וכמעט ללא צורך בתחזוקה (Messinger et al., 2003; Wenham et al., 2007).

חברי הקבוצה בחרו לבנות בגן האקולוגי מתקן המציג את האנרגיה הסולרית באמצעות פאנל, שנקבע בגובה 120 ס"מ, בזווית של 30° למישור וכיוון לצד דרום (איור 3). נתוני ההתקנה המיטביים לפאנל נבחרו בידי התלמידים לאחר שחקרו אותם בסדרה של ניסויים. הניסויים נערכו במרכז המצוינות לאנרגיות חלופיות ובשטח בית הספר טרם ההתקנה. הפאנל שהוקם בגן מסוגל בימים בהירים ובשעות אור להפעיל בלחיצה שלושה צרכני אנרגיה שונים: מנוע, נורת ליבון וזמזם.

2. מהלך העבודה

הסטודנטים מהפקולטה להנדסה ומהפקולטה לעיצוב שבחרו להשתתף בפרויקט, חולקו לשלוש קבוצות, שכל אחת מהן התמחתה בת-נושא שונה בתחום הכולל של אנרגיות מתחדשות. קבוצה אחת עסקה באנרגיית רוח, קבוצה אחרת עסקה באנרגיה סולרית, ואילו הקבוצה השלישית עסקה בגלגולי אנרגיה (המרת אנרגיה). כל קבוצה הייתה אחראית לתכנון ולבנייה של מתקן, שמטרתו העיקרית הייתה להציג את נושא האנרגיה בשימושים רחבי-היקף, נגישים ומותאמים לקהילה. לכל אורכו בוצע הפרויקט בשיתוף פעולה הדוק עם הקהילה, עם סגל בית הספר ועם התלמידים שהשתתפו בו.

בתחילת הפרויקט חשפו הסטודנטים את קהילת בית הספר לעקרונות המדעיים של אנרגיות מתחדשות בסדרת מפגשים שנערכו בבית הספר (איור 1). המפגשים כללו (שלב 1) למידה פרונטלית-חוייתית של נושאים כגון עקרונות החשמל וההולכה החשמלית, הפקת אנרגיה קונבנציונלית והתייעלות אנרגטית. נוספה להם התנסות מעשית, שכללה בניית מעגל חשמלי, היכרות עם חוק אום ועם המונחים מתח, זרם והספק. בשלב הבא (שלב 2) ביקרו תלמידי בית הספר במכון עצמו, בפקולטה להנדסה ובמרכז המצוינות לאנרגיות חלופיות ורשת חכמה, והשתתפו בסדנאות מעשיות שבהן למדו כיצד ניתן ליישם את העקרונות המדעיים ולהפכם למוצרים טכנולוגיים. הפגישות הבאות (שלב 3) שהתקיימו בין תלמידי בית הספר לבין הסטודנטים הוקדשו לתכנון המתקנים, לעריכת סקר שוק ורכש רכיבים, למעקב אחר תהליך הזמנת הרכיבים ולבדיקת תקינותם והתאמתם לדרישות לאחר קבלתם. התלמידים עברו סדנאות חוייתיות (שלב 4), שבהן נדרשו להפוך רעיון למוצר בכוחות עצמם ועל סמך הידע שרכשו. לאחר שכל הצידוד הנדרש נרכש, התקבל ונבדק, השתתפו התלמידים בהקמת המתקנים בשטח בית הספר. בסיום הפרויקט (שלב 5) נמסרו המתקנים לקהילת בית הספר בטקס חגיגי, והם צפויים לשמש את אוכלוסיית העיר חולון ואת קהילת בית הספר לצורך הוראת המדעים והאנרגיות המתחדשות גם בשנים הבאות.



איור 1: שלבי העבודה בפרויקט הגן האקולוגי

3. תוצרי הפרויקט

3.1 אנרגיה סולרית

הקבוצה שעסקה בתחום האנרגיה הסולרית הציגה בפני קהילת בית הספר מגוון אפשרויות לניצול האנרגיה הרבה המתקבלת מהשמש. אפשרות אחת היא שימוש בתהליכים תרמו-סולריים, שבהם מנצלים את חום השמש לחימום, ליצירת קיטור ולהנעת גנרטור לשם הפקת חשמל. אפשרות נוספת היא ניצול אנרגיית הקרינה של השמש להפקה ישירה של חשמל באמצעות מתקן שנקרא פאנל סולרי. קרינת השמש

מבוסס על כוח העילוי. התקנים אלו יעילים יותר מבחינה אווירודינמית, שכן הכנפיים יכולות להסתובב במהירות גבוהה ממהירות הרוח, ונוסף על כך כמות החומר הדרושה לבניית הכנף פחותה בהרבה. מסיבות אלו התקני עילוי נפוצים יותר בטורבינות מסחריות.

חלוקה מעשית יותר מבדילה בין טורבינות בעלות רוטור אופקי (HAWT – horizontal-axis wind turbine) לבין טורבינות בעלות רוטור אנכי (VAWT – vertical-axis wind turbine). בטורבינות אופקיות היחס בין שטח הכנף לבין שטח דיסק הרוטור קטן מאשר בטורבינות אנכיות (פרמטר המכונה rotor solidity), ולכן הן קלות מהן. טורבינות בעלות ציר אנכי יכולות לנצל רוח הנושבת בכל כיוון, מבלי שיהיה צורך לסובב את הטורבינה לכיוון הרוח. יתר על כן, מקומה של מערכת התמסורת הגנטור בתחתית המגדל מקל על פעולות התחזוקה הנדרשות (Manwell et al., 2003).

חברי הקבוצה והתלמידים בחרו לבנות בגן האקולוגי מתקן המציג את אנרגיית הרוח באמצעות מנהרת רוח, המורכבת מטורבינת עילוי בציר אופקי בעלת שלושה להבים בגובה 120 ס"מ. האנרגיה המתקבלת מהטורבינה מפעילה את לוח הפיקוד, והלוח יוצר ממשק חזותי, שמציג את מהירות הרוח ואת הספק האנרגיה המתקבל בכל רגע נתון. נוסף על כך יש בקופסת הפיקוד פאזל וירטואלי ומשחק טריוויה בנושאי אנרגיה (איור 4).



איור 3: מתקן להפקת אנרגיה חשמלית הפועל על ידי פאנל סולרי

3.2 אנרגיית רוח

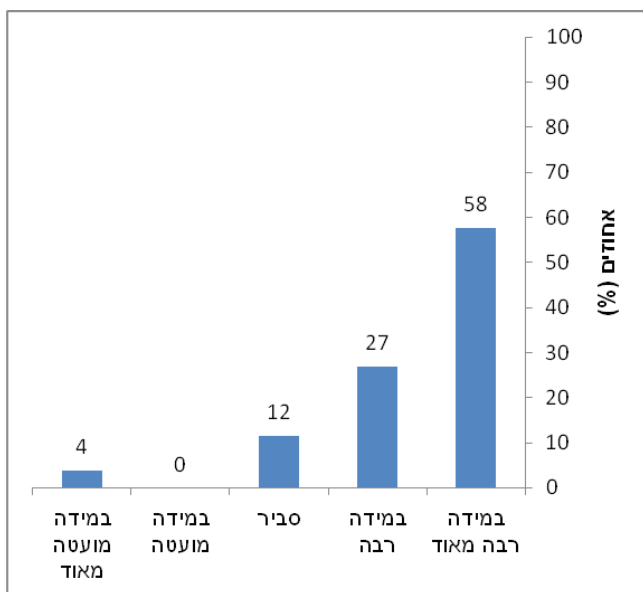
רוח, אחד ממקורות האנרגיה החשובים והנפוצים מבין שלל האנרגיות המתחדשות, היא תנועה של חלקיקי אוויר רבים הנעים יחד ובכיוון מסוים. תנועת האוויר נוצרת בעקבות הפרשי לחצים הגורמים לחלקיקי האוויר לנוע מאזור שבו הלחץ גבוה לאזור שבו הלחץ נמוך יותר. משי רוח יכולים להיווצר מסיבות שונות, אולם שתי הסיבות העיקריות ליצירת רוחות בקנה מידה גדול הן דרגות התחממות שונות של אזורים שונים על פני כדור הארץ (עקב הבדלים בקליטת אנרגיה מהשמש) ותנועת כדור הארץ (כוח קוריוליס).

אנרגיית רוח היא האנרגיה הקינטית (אנרגיה הנובעת מתנועה של גופים) האצורה ברוח. במערכות להפקת חשמל משתמשים בטורבינות רוח, הממירות את אנרגיית התנועה לאנרגיה חשמלית. טורבינות רוח נחלקות לחלקי עקרונית לפי הכוח האווירודינמי שמפעיל אותן או לפי מבנה הרוטור (הכנפיים) שלהן. מבדילים בין שני סוגים של טורבינות, בהתאם לאווירודינמיקה של הטורבינה. הסוג האחד הוא ה־drag type, מבוסס גרר (drag-type device), ובו הכוח העיקרי שגורם לסיבוב הטורבינה הוא כוח הגרר. להתקן זה יש מגבלת יעילות אינהרנטית, כיוון שמהירות הכנפיים אינה יכולה לעלות על מהירות הרוח. דוגמאות להתקני גרר הן מפרש של סירה, שבשבות ועוד. טורבינות מסוג השני הן התקנים מבוססי עילוי (lift-type device), ובהם סיבוב הטורבינה

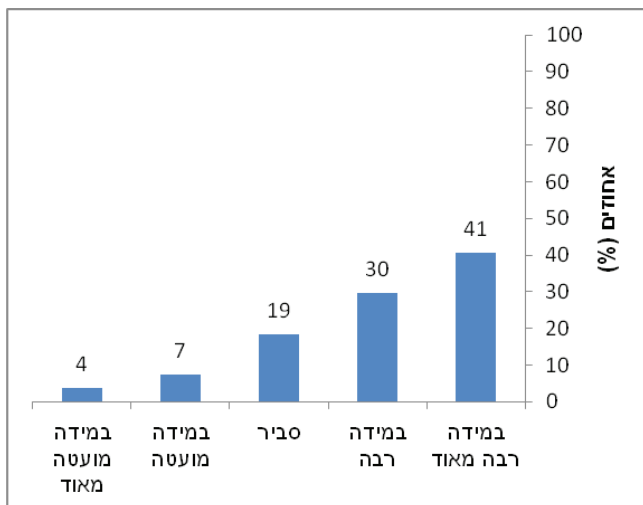


איור 4: מתקן להפקת אנרגיה חשמלית הפועל על ידי טורבינת רוח

נהנו מהפרויקט במידה רבה מאוד, 27% תלמידים נהנו במידה רבה, 12% במידה סבירה ורק 4% נהנו במידה מועטה מאוד. התלמידים נשאלו לגבי בהירות התכנים שנלמדו במהלך הפרויקט (איור 7). 41% מהתלמידים מצאו שהתכנים שלימדו אותם הסטודנטים במהלך העבודה על הפרויקט היו בהירים במידה רבה מאוד, ל-30% התכנים היו בהירים במידה רבה, ל-19% במידה סבירה, ל-7% במידה מועטה, ואילו 4% מהתלמידים דיווחו שהתכנים היו בהירים במידה מועטה מאוד. כאשר נשאלו התלמידים עד כמה הם חשים שייכות לתוצר הסופי, הוא המתקן שהוצב בחצר בית הספר (איור 8), השיבו 22% שהם מרגישים שייכות לתוצר במידה רבה מאוד, 59% השיבו שהם מרגישים שייכות במידה רבה, 7% במידה סבירה, 7% במידה מועטה ו-4% מהתלמידים דיווחו שהם מרגישים שייכות לתוצר במידה מועטה מאוד.



איור 6: מידת ההנאה הכללית של תלמידי בית הספר רביבים מפרויקט הגן האקולוגי



איור 7: מידת בהירות התכנים שהעבירו הסטודנטים במפגשים עם התלמידים

3.3 גלגולי אנרגיה (המרת אנרגיה)

אנרגיה היא היכולת או הכוח לבצע פעולה, והיא מופיעה בטבע בצורות רבות: אנרגיית חום, אנרגיה פוטנציאלית (גובה), אנרגיה קינטית, אנרגיה חשמלית, אנרגיה מגנטית, אנרגיית קול, אנרגיית קרינה, אנרגיה כימית ואנרגיה גרעינית. אנרגיה יכולה לעבור מגוף אל גוף, כך לדוגמה אנרגיית חום עוברת מגוף חם לגוף קר. היא יכולה גם להתגלגל מסוג אחד לסוג אחר, כפי שהאנרגיה הכימית ברכב הופכת לאנרגיית תנועה. תהליכים אלה נקראים המרות אנרגיה.

חברי הקבוצה בחרו לבנות בגן האקולוגי מתקן שבו אנרגיה קינטית מומרת לאנרגיה חשמלית. אנרגיה קינטית (מכנית) המתקבלת מקפיצת תלמיד או תלמידה על גבי טרמפולינה, מומרת לאנרגיה חשמלית, שמדליקה נורות לד. במתקן בגן בוצעה המרת האנרגיה על ידי 36 מתמרים פיאו-אלקטריים (piezoelectric transducer), שנקבעו בכל טרמפולינה. מתמר פיאו-אלקטרי הוא חיישן עשוי חומר גבישי, אשר מייצר מתח חשמלי פרופורציונלי ללחץ המכני המופעל על הגביש. מסיבה זו יכול מתמר פיאו-אלקטרי כזה לשמש כמד כוח אתגרי-תחרותי – ככל שהתלמיד קופץ מהר יותר וחזק יותר, מתקבל מתח רב יותר, וכתוצאה מכך גדל מספר נורות הLED הנדלקות (איור 5). כל המתקנים בגן עברו ביקורת של יועץ חשמל ושל יועץ בטיחות ונמסרו לבית הספר בטקס חגיגי. המתקנים ישמשו להוראת המדעים ונושא האנרגיות המתחדשות גם בשנים הבאות.

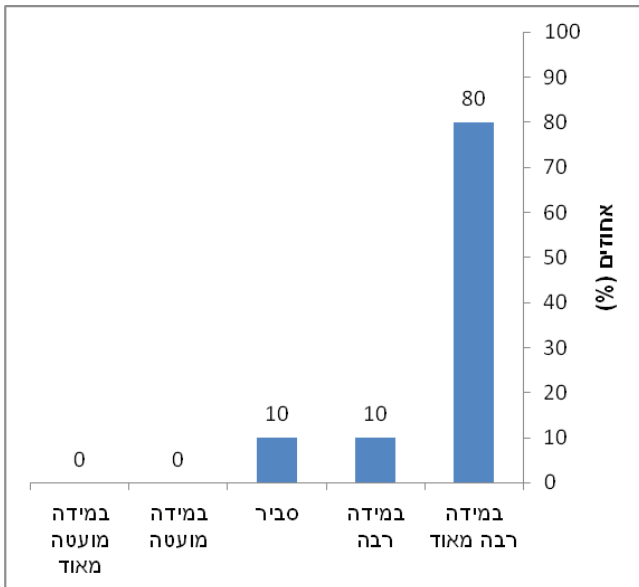


איור 5: הפקת אנרגיה חשמלית על ידי הפעלת לחץ מכני תוך שימוש ברכיב פיאו-אלקטרי

4. סקר הערכה לפרויקט

בסיום הפרויקט בוצעו סקרי משוב אנונימיים בקרב תלמידי בית הספר ובקרב הסטודנטים שהשתתפו בפרויקט. מטרת הסקרים הייתה להעריך את מידת ההצלחה של הפרויקט ואת תרומתו לתהליך ההוראה של התלמידים בבית הספר היסודי רביבים כחלק מלימוד המדעים. הסקרים נועדו גם לבחון עד כמה תרם הפרויקט לצבירת הניסיון המקצועי של הסטודנטים בניהול פרויקטים.

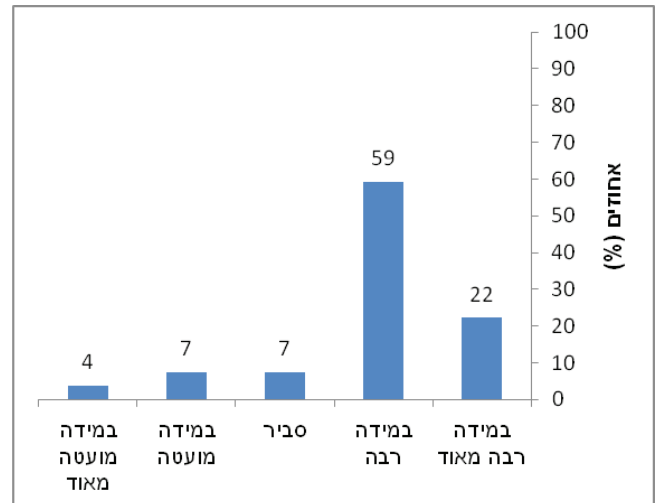
התלמידים מכיתות ה'ו' בבית הספר התבקשו לדרג את מידת ההנאה הכללית שלהם מהפרויקט (איור 6). נמצא כי 58% מהתלמידים



איור 10: מידת התרומה של הפרויקט לניסיון המקצועי של הסטודנטים מ-HIT מכון טכנולוגי חולון שהשתתפו בפרויקט

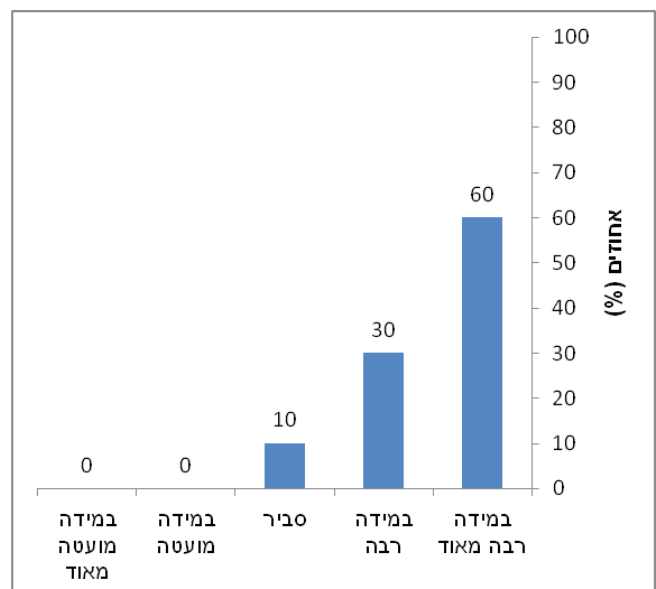
בניתוח התוצאות של שאלוני המשלב נמצא כי תלמידי בית הספר נהנו מאוד מהמפגשים עם הסטודנטים, הם למדו רבות, והרגישו תחושת שייכות חזקה למוצר שהתקבל. הסטודנטים מצדם ציינו בשאלונים שמילאו, כי התלמידים גילו מחויבות גדולה לפרויקט ותרמו לו תרומה רבה. עוד ציינו הסטודנטים כי הפרויקט אפשר להם להתנסות באופן מעשי בהקמה ובבנייה של מערכות חשמל ואנרגיה. במכון הם קיבלו את הידע התאורטי, ובפרויקט הם הצליחו לממשו לכדי תוצר פועל.

בטקס חנוכת הגן האקולוגי בחצר בית הספר הוענקו תעודות השתתפות לכל התלמידים והסטודנטים שנטלו חלק בפרויקט. תעודת הצטיינות ניתנה לעידן חלבי, סטודנט שנה ג' בפקולטה להנדסה, שריכז את הפרויקט (איור 11). בדבריה בטקס אמרה הגברת שרית צור, רכזת המדעים ומתאמת הפרויקט מטעם בית הספר רביבים: "הקמת הגן האקולוגי ברביבים מאפשר לנו, המורים, ללמד את החומר באמצעות חוויה והתנסות, זוהי למידה משמעותית. שיתוף הפעולה עם הסטודנטים ועולם האקדמיה הביא לחשיבה משותפת שהפכה רעיון ראשוני למציאות מעבר לעבודה המשותפת שהעשירה את התלמידים. מעבר ללמידה הפרונטלית בכיתה, התלמידים נהנו מעשייה והיו מחויבים לתהליך."¹



איור 8: מידת השייכות של התלמידים בבית הספר לתוצר הסופי שתוכנן ונבנה במהלך הפרויקט

כאשר התבקשו הסטודנטים לדרג את מידת שיתוף הפעולה בין האקדמיה לבין הקהילה (איור 9), 60% סברו כי במהלך כל הפרויקט היה שיתוף פעולה במידה רבה מאוד, 30% – במידה רבה ו-10% – במידה סבירה. לשאלה מה מידת התרומה של הפרויקט לניסיון המקצועי שלהם בחשמל, בעיצוב ובניהול פרויקטים (איור 10), 80% מהסטודנטים השיבו שהעבודה על הפרויקט תרמה להם תרומה מקצועית במידה רבה מאוד, ל-10% היא תרמה במידה רבה ול-10% היא תרמה במידה סבירה.



איור 9: מידת שיתוף הפעולה אקדמיה-קהילה לדעת הסטודנטים מ-HIT מכון טכנולוגי חולון שהשתתפו בפרויקט



איור 11: טקס חנוכת הגן האקולוגי בבית הספר רביבים בחולון. בטקס הוענקו תעודות השתתפות לתלמידים ולסטודנטים שהשתתפו בפרויקט ותעודת הצטיינות לרכז הפרויקט

הביקור בגן האקולוגי ממחיש בצורה חזוייתית הן את הצורך והן את היכולת לשנות את העתיד – להפכו לעתיד נקי ובריא יותר, כדברי מרגרט מיד (Margaret Mead), "לעולם אל תטילו ספק בכך שקבוצה קטנה של אזרחים מתחשבים, מחויבים, יכולה לשנות את העולם. ואכן, זה הדבר היחיד אי-פעם שהגיע מהלכים גדולים."

מקורות

- Bamberger, Y., Tal, T., 2008. Multiple outcomes of class visits to natural history museums: The students' view. *Journal of Science Education and Technology* 17, 264–274.
- Carlton, E., Whiting, J., Bradford, K., Hyjer Dyk, P., Vail, A., 2009. Defining factors of successful university–community collaborations: An exploration of one healthy marriage project. *Family Relations* 58, 28–40.
- Falk, J. H., Dierking, L. D., 2000. Learning from museums: Visitor experiences and the making of meaning. AltaMira Press. Walnut Creek, CA.

5. מסקנות

הגן האקולוגי מביא את הקהילה להיכרות בסיסית עם אנרגיות מתחדשות באמצעות משחק וחוויה. התפתחות הטכנולוגיה וגידול האוכלוסייה העולמית גורמים לעלייה קבועה ורבת-היקף בדרישות האנרגיה, אולם שימוש במקורות אנרגיה מחצביים יגרמו להמשך זיהום הסביבה. כדי לטפל במשבר יש להביא את הציבור להבנה של הבעיה ולשיתוף פעולה באמצעות התייעלות אנרגטית והפקת אנרגיה שאינה מזהמת את הסביבה. הפרויקט שהתקיים בשנת הלימודים תשע"ו בבית הספר רביבים היה תהליך דינמי שהתפתח על פי צרכים שזוהו תוך כדי פעולה, והוא פעל על פי מודל התערבות ייחודי מבוסס ידע ומבוסס קהילה.

בסיום הפרויקט בוצע סקר הערכה לבחינת ההשפעה החברתית ויעילות ההתערבות. בסקר שהוצג לעיל (סעיף 4), נמצא שקהילת בית הספר נהנתה מאוד מהפרויקט, התלמידים למדו רבות והרגישו שחלקם בתוצר שהתקבל חשוב. גם הסטודנטים הפיקו תועלת מהפרויקט, וציינו שהוא נתן להם אפשרות להתנסות מעשית ולרכישת ניסיון מקצועי בהקמה ובבנייה של מערכות חשמל ובניהול פרויקט. הפרויקט היה חלק נוסף בהשכלה הפורמלית שקיבלו הסטודנטים במכון. בשנים הבאות יושם דגש על העמקת שיתוף הפעולה אקדמיה-קהילה ועל הצגת תכנים בהירים וברורים בכל שלבי הפרויקט.

- Manwell, J. F., McGowan, J. G., Rogeres, A. L., 2003. Wind energy explained: Theory, design and application. Wiley, West Sussex, England.
- Messenger, R. A., Ventre, J., Ventre, G. G., 2003. Photovoltaic systems engineering. Taylor & Francis, Inc.
- Osborne, J., Dillon, J., 2008. Science education in Europe: Critical reflections. Nuffield Foundation, London.
- Sjøberg, S., Schreiner, C., 2006. How do learners in different cultures relate to science and technology? Results and perspectives from the project ROSE (the relevance of science education). Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching 6 (2), 1–17.
- Wenham, S. R., Green, M. A., Watt, M. E., Corkish, R., 2007. Applied photovoltaics. Earthscan. James & James, London.
- Friman, H., Matsliah, N., Beck, Y., 2016. Renewable energy lab at the Faculty of Electrical Engineering. Proceedings of the 10th Annual International Technology, Education and Development Conference (INTED2016), Valencia, Spain.
- Hart, A., Northmore, S., 2010. Auditing and evaluating university–community engagement: Lessons from a UK case study. Higher Education Quarterly 65 (1), 34–58.
- Kaltschmitt, M., Streicher, W., Wiese, A., 2007. Renewable energy technology and environment. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- Lyons, T., 2006. Different countries same science classes: Students' experiences of school science in their own words. International Journal of Science Education 28 (6), 591–613.