



מינהל המחקר החקלאי
מרכז וולקני

שם הפרויקט:
**כיסוי מטעים ברשתות צל להפחתת נזקי קרינה
וחום: היבטים מבניים ומיקרואקלימיים**
דוח סיכום
תאריך: מאי 2013

צוות המחקר:
יוסי טנאי, מאיר טייטל, מינהל המחקר החקלאי
עמוס נאור, פבלו איבניז, שלומי כפיר, מו"פ צפון



תוכן עניינים

3.....	מבוא	1.
8.....	חומרים ושיטות	2.
8.....	מיקום הניסוי	.2.1
9.....	נתוני בית הרשת	.2.2
11.....	מיקום של מערכת מדידות	.2.3
13.....	ציוד המדידה	2.4
15.....	כיוול מתמרי עומס	2.5
17.....	תוצאות	.3
17.....	פילוג הרוח החיצונית	.3.1
18.....	פילוג כוחות הפועלים על הרשת	.3.2
19.....	פילוג קורלציות	.3.3
20.....	ניתוח נתונים עבור חיישן אחד	.3.4
23.....	חישוב מאמצים על פני הרשת כתוצאה מכוחות רוח	3.5
23.....	דיון ומסקנות	.4
24.....	ביבליוגרפיה	.5
27.....	תמונות מאתר הניסוי	.6
28.....	תודות	.7

רקע ותאור הבעיה

בשנים האחרונות הולכים ומתרבים בארץ ובעולם אירועי אקלים קיצוניים כחלק משינויי האקלים הגלובאליים. לדוגמה, בחודש אוגוסט 2010 היה גל חום קיצוני בשלהי הקיץ, חריג בעוצמתו ובמשכו. גל חום זה גרם לפגיעה משמעותית במטעי נשירים בגליל ובגולן. בתפוח הדבר התבטא במכות שמש ובנזקי חום (כ-50 מלש"ח בתפוח). בעשור האחרון התרחב השימוש ברשתות כאמצעי הגנה על גידולים חקלאיים בפני פגעי טבע. הרשתות מפחיתות את עוצמת הקרינה הישירה ויכולות גם להוריד את טמפי' האוויר בסביבת הגידול, לכן יש צורך לפתח מימשק כיסוי ברשתות הגנה להפחתת נזקי טמפי' וקרינה גבוהים. במחקר קודם בחלקות קטנות על מטעי תפוח מצאנו כי רשת פנינה (30% צל) הפחיתה משמעותית את מכות השמש והורידה את טמפי' המקסימום היומית בכ – 1.5 מ"צ בהשוואה לביקורת ללא רשת (Tanny et al., 2009). במחקר אחר בו נפרשה רשת אחת, 20% צל שקופה, בחלקה גדולה ורצופה, (כ-5 דונם), לא נמצא הבדל בטמפרטורה בין המטע המכוסה למטע החשוף (דו"ח מסכם למדען הראשי של משרד החקלאות, תוכנית מס' 08-0326-304).

ברוב המחקרים שביצענו עד כה במטעי תפוח בחנו רשת שטוחה בגובה שהיה קרוב לצמרות העצים ולא נבחנה השפעת המרווח בין קצה הנוף לרשת. מחקר קודם שלנו בצמחי קישוט (רוסקוס) הראה כי רשת גבוהה יותר הביאה להפחתת טמפרטורת האוויר באזור הנוף בכ- 1.5 מ"צ ביחס למבנה סמוך עם רשת נמוכה יותר (Tanny et al., 2008). גורם נוסף שיכול להשפיע על המיקרו-אקלים תחת רשת הוא תצורת הגג (לא נבחן בתפוח בצורה השוואתית). סימולציות נומריות הראו כי גג רשת דו-שיפועי מאפשר יותר חדירה של אוויר למבנה ומשפר את האוורור (לכן גם את סילוק החום) בהשוואה לגג שטוח (Teitel & Wenger, 2010). לפיכך, יש לבצע אופטימיזציה משולבת של גובה הרשת ותצורת הגג (שטוח לעומת דו שיפועי).

נראה אם כן כי כיסוי המטע ברשת ישפר את המיקרו-אקלים של הגידול, ימנע מכות שמש ונזקי חום ובכך יגדיל את היבול המסחרי. אולם, העלות הגבוהה של מבנים אלה מונעת כיום שימוש נרחב בכיסויי רשת במטעים. הגורם למחיר הגבוה הוא הדרישה למבנה עמיד כנגד הכוחות שהרוח מפעילה עליו וחוסר הידע בתחום זה. המידע הקיים היום בידי החברות המתכננות ובונות את בתי הרשת מבוסס ברובו על מידע לגבי מבנים רגילים עם קירות אטומים, ומעודכן למבנה הרשת לפי ניסיון אישי של המתכנן (ידע אישי של החוקרים). אולם, למיטב ידיעתנו, לא נחקרו עד היום ההיבטים ההנדסיים של חוזק מבנה רשת הדרוש לעמידה במשטר רוחות נתון. החוזק הנדרש של המבנה נובע מכוח הרוח על הרשת אשר משתנה עם סוג הרשת, וכן עם תצורת פריסתה. לשיקולים אלה כאמור יש השפעה גם על אוורור המטע ומכאן על המיקרואקלים בסביבת העץ. לכן, יש מקום לבחון האם ניתן להוזיל מבנים אלה, תוך שמירה על מקדמי בטחון סבירים והשגת מיקרואקלים רצוי.

סקר ספרות

כוחות רוח על מבנים

הכוחות הפועלים על מבנים כתוצאה מרוחות נקבעים ע"י מאפייני הרוח ומושפעים גם מהתכונות והמאפיינים של המבנים עצמם. מכיוון שאחד המאפיינים החשובים של הרוח הוא מהירות הרוח, המשתנית ללא הפסק, מתבטא הדבר בכוחות משתנים, הפועלים על המבנים. מכיוון שכך, יש להכיר את המאפיינים הדינמיים של המבנים, על מנת שניתן יהיה לקבוע את תגובתם הדינמית לפעולת רוח עליהם. המאפיין המבני החשוב ביותר הוא זמן המחזור הטבעי של המבנה (צורת תנודה ראשונה) ממנו נובע התדר הטבעי הבסיסי שלו. המאפיין החשוב השני הוא השיכוך/הריסון: ככל שגדול זמן המחזור הטבעי של המבנה ו/או קטן הריסון שלו, כן תגבר התגובה הדינמית של המבנה לפעולת הרוח.

כוח הרוח הכולל הפועל על מבנה או על חלקיו תלוי בגורמים הבאים (לייבוניץ' וחוב', 2008): לחץ הייחוס הבסיסי של הרוח, התלוי במהירות הייחוס הבסיסית של הרוח באתר בו ממוקם המבנה; מקדם החשיפה, המבטא את השפעת הגובה מעל שטח הייחוס, חספוס פני השטח, מקדם האורוגרפיה ומקדם השיא; מקדם האורוגרפיה מבטא את ההשפעות הטופוגרפיות המקומיות הגורמות להגברת מהירות הרוח על פני גבעות, רכסים או מצוקים מבודדים הבולטים מעל פני הקרקע של סביבתם, בהשוואה למהירויות הרוח בשטחים אשר למרגלותיהם. מקדם השיא הוא ערך מספרי המתאר באופן כללי פי כמה גדולה השפעת התנודות המרביות שבעצמת הרוח, מהערך "הממוצע" של התנודות בעוצמת הרוח בהשוואה להשפעה הממוצעת של עוצמת הרוח, הנקבעת לפי המהירות הרוח הממוצעת.

כוח הרוח תלוי גם במקדם מבני, המבטא את ההשפעה וההגברה של תגובת המבנה כתוצאה מפעולת הרוח; מקדמי הכוח האווירודינמיים, המבטאים את השפעת הצורה הגיאומטרית של המבנה על הלחצים וכוחות הרוח המתפתחים באזורים שונים של המבנה; שטח הייחוס עליו פועלת הרוח, שהוא בד"כ ההשלכה של המבנה על שטח ניצב לכיוון הרוח.

אף שהתקן הישראלי מתייחס בפרוט לחישובי עומסי רוח על מבנים שונים אין בו אזכור לחישובי כוחות על מבנים בהם הקירות עשויים מחומר פורוזיבי (נקבובי) כדוגמת רשתות. יתרה מזאת, גם בתקן האירופאי (CEN 2005) אין אזכור לנושא. Briassoulis et al. (2010) מציינים כי בהעדר תקן והנחיות כיצד לחשב כוחות על מבנים בהם הקירות עשויים מרשתות, היצרנים מחשבים את הכוחות כאילו המבנה היה מכוסה בכיסוי קשיח או יריעה אטומה ומקטינים את הערכים שמתקבלים ביחס ישר לפורוזיביות של הרשת; או שהם משתמשים במקדם ביטחון קטן יותר מזה המקובל במבנים רגילים. אותם המחברים מציינים כי לצורת חישוב כזו אין שום בסיס מדעי ולדעתם היא אף שגויה ועלולה להביא להערכת יתר בדרישות התכנון ולעלויות מוגזמות של מבני רשת.

כוחות רוח על רשתות

בעוד שמספר העבודות העוסקות בשיטות לחישוב מפלי לחץ על רשתות הינו גדול יחסית, מספר המחקרים שהתייחסו לחישוב הכוח הפועל על רשתות קטן הרבה יותר. יתרה מזאת, מספר העבודות שבחנו שיטות לחישוב כוחות על מבנה שלם מכוסה ברשת הוא למיטב ידיעתנו שתיים (Briassoulis et al., 2010; Robertson et al., 2002). החיסרון של העבודות הנ"ל שהן מבוססות על ניסויים במנהרת רוח וסימולציות נומריות, ולא כוללות אימות ע"י ניסויים על בתי רשת בסקלה גדולה בשדה.

את כוח הרוח הפועל על רשת הנתונה בזווית כלשהי כלפי הרוח ניתן לפרק לשני רכיבים (Gjosund and Enerhaug, 2010). הראשון הוא כוח ניצב לרשת, הנגרם עקב התנגדות הרשת לזרימה דרכה, ונובע עקב בלימת הרוח ע"י חוטי הרשת והטיית קווי הזרם. כוח זה נקרא גם גרר צורה ומבוטא ע"י מפל הלחץ דרך הרשת. הכוח השני הוא מקביל לרשת, והוא נגרם כתוצאה מגרר החיכוך שמפעילה הרוח על הרשת. כוח זה מיוצג ע"י מאמץ הגזירה, שבזרימה טורבולנטית מבוטא באמצעות מהירות החיכוך.

את הכוח הניצב לרשת ניתן להעריך ע"י מדידות של מפל לחץ דרך רשתות (Teitel

and Shklyar, 1998) שניתן לביטוי לפי:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho k u_i^2 \quad (1)$$

כאשר, P הוא הלחץ [$\text{Pa} = \text{N m}^{-2}$], ρ היא צפיפות האוויר [kg m^{-3}], k הוא מקדם מפל הלחץ [חסר יחידות] ו- u_i היא מהירות האוויר דרך הרשת [m s^{-1}]. אם הרשת נטויה בזווית כלשהי, θ , כלפי הרוח (כמו לדוגמה קירות צד נטויים של בית רשת) אזי, כדי לקבל את הכוח הניצב לרשת זו, ניתן להציב במשוואה (1) את רכיב הרוח הניצב לרשת, $u_i \cos \theta$. מודל מדויק יותר לחישוב מפל הלחץ על רשת נטויה הוצע ע"י Brundrett (1993), בו מקדם מפל הלחץ (k במשוואה 1) תלוי במספר ריינולדס (מבוסס על קוטר החוט), זווית נטיית הרשת וחדירות (porosity) הרשת. הכפלת מפל הלחץ ממשוואה (1) בשטח, תיתן את הכוח הכולל (ביחידות ניוטון, N) הפועל על הרשת וממנו ניתן להסיק על דרישות החוזק של המבנה עליו פרושה הרשת.

הרכיב השני של הכוח משיק לפני הרשת ונובע מחיכוך (גרר חיכוך). ניתן להעריך

אותו ע"י חישוב מאמץ הגזירה לפי (Stull, 1988):

$$\tau = \rho u_*^2 \quad (2)$$

כאשר τ הוא מאמץ הגזירה [$\text{Pa} = \text{N m}^{-2}$], ו- $u_* = \left(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} \right)^{1/4}$ היא מהירות החיכוך [m s^{-1}], כאשר w' , v' , u' הם תנודות המהירות בשלושת הכוונים. מהירות החיכוך מייצגת את השטף האנכי של המומנטום האופקי. הרשת מהווה מבלע (sink) לתנע אופקי ולכן אם נמדוד את מהירות החיכוך מתחת ומעל לרשת נקבל את ההפרש בשטף המומנטום, או במאמץ הגזירה, ששווה לכוח (ליחידת שטח) שמפעילה הרוח על הרשת. הכוח המחושב

בשיטה זו מבוסס על מדידת הרוח במיקום מסוים בבית הרשת, אך הוא מייצג את כל משטח הרשת במעלה הרוח של נקודת המדידה.

למיטב ידיעתנו, כל העבודות בספרות (ראה סקר ספרות בהמשך) חקרו בעיקר את הזרימה והכוחות עבור רשתות הניצבות לזרימה או נטויות כלפי הזרימה בזווית כלשהי. לעומת זאת, מבני רשת כמו אלה המקובלים היום לכיסוי מטעים, מורכבים בעיקר מגג רשת אופקית, וברוב המקרים אינם כוללים קירות צד, או שכוללים קירות צד הניתנים לקיפול או פרישה, לפי עונת הגידול. במבנה רשת עם קירות צד יפעל כוח ניצב על קירות הצד וכוח משיק על הגג האופקי. אולם, במבנה רשת ללא קירות צד הכוח העיקרי שהרוח האופקית הממוצעת תפעיל על הרשת יהיה הכוח המשיק לרשת. במצב זה, רכיב כוח הניצב לרשת האופקית (רכיב כוח אנכי) ייווצר כתוצאה מהתנועה הטורבולנטית של מערבולות הרוח הכוללות גם רכיב רוח אנכי הזורם דרך הרשת. הרכיב האנכי של הרוח קטן מאד ביחס לרכיב האופקי ולכן תרומת הכוח הניצב במקרה זה תהיה קטנה, אם כי לא זניחה שכן היא יכולה להשרות תנועה גלית שיכולה לייצר מאמצים דינאמיים.

סקירת הידע בארץ ובעולם ותוצאות מוקדמות – היבטים מבניים

נושא חישוב מפלי לחץ על רשתות כשהאוויר זורם בניצב לרשת נחקר ע"י חוקרים רבים ובהקשרים שונים. במאמר סקירה של Teitel (2007) מתוארות העבודות השונות בהרחבה. כדוגמה לנושאים המגוונים בהם יש צורך בחישוב מפלי לחץ על רשת ניתן להביא את: (i) כוחות תנועת המים דרך רשתות דיג (Carrothers and Baines, 1975, Gjøsund and Enerhaug, 2010); (ii) אוורור חממות ע"י פתחים מכוסי רשת (Teitel, 2007; Teitel, 2001). (iii) השימוש הרחב ברשתות במנהרות רוח להפחתת רמת הטורבולנציה והשגת זרימה אחידה (Koo and James (1973), Laws and Livesey (1978).

במאמר המתייחס לזרימה דרך רשת קונית (Gjøsund and Enerhaug, 2010), הראו החוקרים כי שימוש במודל של מפל לחץ דרך רשת נטויה נמצא בהתאמה טובה עם מדידות שבוצעו בתעלת מים עם שמונה סוגים שונים של רשתות. המודל הראה כי ככל שהרשת הייתה נטויה בזווית קטנה יותר כלפי הזרימה (כלומר, יותר מקבילה לזרימה) כך עלתה התרומה היחסית של החיכוך וירדה התרומה היחסית של מפל הלחץ לכוח הגרר הכללי של הזרימה על הרשת. ברשת שהייתה מקבילה לכיוון הזרימה התאפס רכיב הכוח הניצב. זהו מצב הצפוי במקרה של רוח הנושבת במקביל לגג רשת אופקי.

כוחות רוח על פנל של רשת אנכית (בניצב לרוח האופקית) נמדדו ע"י Briassoulis, et al. (2010) שציינו כי חדירות הרשת אינה מספקת כנתון יחיד לאפיון כוח הרוח על הרשת. הם מציינים גם כי הידע בספרות על רשתות שאינן ניצבות לכיוון נשיבת הרוח מצומצם מאד ויש להרחיב את המחקר בכיוון זה. בהקשר של כוחות הרוח על קירות צד משופעים של בית רשת פורסמה עבודה ע"י Teitel et al. (2009). העבודה מתארת תוצאות ניסויים וסימולציות נומריות להערכת אופייני זרימה וכוחות הפועלים על רשת נטויה. העבודה מצאה שלזווית הרשת כלפי הרוח השפעה על הכוח הפועל על הרשת. כמו כן מצאה העבודה שרמת ההשפעה של זווית הנטייה משתנה עם הפרוזיביות של הרשת. ברשתות

בעלות פרוזיביות נמוכה לשינוי בזווית הרשת כלפי הרוח השפעה קטנה בהשוואה לרשתות בעלות פרוזיביות גבוהה.

ההתקדמות בתחום הסימולציות הנומריות בעשורים האחרונים מאפשרת לחקור באופן מהיר וזול תצורות שונות של מבנים עליהם מונחות רשתות שונות. אף כי ההתקדמות בתחום זה הינה מרשימה, הנושא אינו מפותח דיו ויש מקום למחקרים נוספים. בשני מאמרים שפורסמו לאחרונה (Teitel (2010, 2011) נידונו האפשרויות והמגבלות של שימוש בסימולציות נומריות לחישוב מפלי לחץ על רשתות ארוגות העשויות מחוט מונו-פילמנט. יתרה מזאת, למיטב ידיעתנו לא נחקרו עד היום הכוחות שמפעילה הרוח על רשת הפרושה במקביל לכיוון הנשיבה. במצב זה לא קיים רכיב של הרוח הממוצעת הניצב לרשת וכוח הרוח נובע בעיקר מחיכוך. אנו ביצענו בקיץ 2011 מדידות הקדמיות בבית רשת בו גדל מטע בננה. נמדד פילוג אנכי של מהירות החיכוך מתחת לרשת, במרווח האוויר בין צמרות הצמחים (1.8 מ') לרשת האופקית (5.5 מ'), ומעל לרשת. המדידות נערכו תוך שימוש במד רוח אולטרא-סוני תלת צירי שהוצב על תורן טלסקופי. בכל גובה בוצעה מדידה של שלושת רכיבי הרוח בתדר של 10 Hz, במשך כ- 15 דקות. במקביל נמדדו כוון ומהירות הרוח החיצונית בגובה 10 מ' ע"י תורן מטאורולוגי. התוצאות הראו כי מהירות החיכוך (משוואה 2) בקירוב קבועה בחתך מתחת לרשת – כלומר בין הרשת לצמרת הצמחים – ובקירוב קבועה בחתך שמעל לרשת, אך נצפה שינוי חד במהירות החיכוך באזור הרשת כתוצאה מבליעת מומנטום ע"י הרשת. שינוי זה מאפשר לחשב את השינוי במאמץ הגזירה (משוואה 2) ומכאן את הכוח המשיק (גרר חיכוך) שהרוח מפעילה על הרשת. לדוגמה, עבור הממצאים שהתקבלו בבית הרשת לגידול בננה בו מדדנו בקיץ 2011, חושב כוח של 0.29 Nm^{-2} . ידיעת כוח זה מאפשרת לתכנן רכיבי מבנה תואמים עבור משטר הרוחות בזמן המדידה.

קבוצת המחקר שלנו ביצעה בשנים האחרונות מחקרים רבים על מיקרואקלים וותנועת האוויר בבתי רשת ותחת כיסויי רשת. הגידולים שנבחנו הם הדורים, בננה, פלפל, תפוח, גפן ורוסקוס, לדוגמה ראה את הפרסומים הבאים: (Tanny et al., 2003, 2006a, 2006b, 2006c, 2007, 2009, 2010, Tanny and Cohen, 2003, Teitel et al., 2009, Dicken et al., 2009, 2011, Moeller et al., 2004). בתפוח בוצעו מדידות בחלקות קטנות מכוסות ברשתות שונות מול ביקורת ללא רשת. מהירות הרוח תחת טיפול הרשת הייתה נמוכה בכ- 10% מזו בטיפול חשוף. בבתי רשת לגידול בננה נמצאה הפחתה של כ- 35% במהירות האוויר בהשוואה למהירות האוויר במטע חשוף. בבתי רשת אלה נמצא כי במרכז המבנה כוון תנועת האוויר היה זהה לכוון הרוח החיצונית. לעומת זאת, בבית רשת להגנה ממזיקים (50 מש) בו גדל פלפל נמצא כי כוון תנועת האוויר במחצית המבנה שבמעלה הרוח הייתה הפוכה לכוון הרוח החיצונית. ממצא זה מרמז על חסימת הרוח ע"י הרשת ועל השראה של כוחות רוח על הרשת, אם כי כוחות אלה לא נמדדו עד היום. מדידות של פילוג הרוח מעל לרשת הראו כי הרשת גורמת להפחתה במהירות החיכוך וזאת ביחס למטע חשוף. ממצא זה מצביע על הפחתה אפשרית במעבר של מומנטום, חום ומסה דרך הרשת לעומת מטע לא מכוסה.

לסיכום, סקירת הספרות מראה כי קיים פער ידע משמעותי בנושא כוחות הרוח על מבני רשת. הידע המועט הקיים נובע ממדידות במנהרת רוח או סימולציות נומריות אך אין

דיווחים על ניסויי שדה בהם נמדדו כוחות אלו בבתי רשת בסקלה גדולה. מחקר זה הוא ראשון מסוגו בארץ ובעולם בכך שנמדדו בו כוחות הרוח ישירות על בית רשת בסקלה גדולה בשדה. ידע מבוסס של השפעת הרוח על המבנה יוכל להביא לתכנון מושכל של מבני רשת שיהיו זולים יותר למגדל ויספקו את ההגנה האקלימית הנדרשת.

הדו"ח המוגש כאן מתאר שלב ראשון במחקר וכולל ניסוי שנערך במימון מועצת הפירות לבחינת התכנות מדידת כוחות על פס רשת בבית רשת בסקלה גדולה. פס הרשת חובר למבנה בית הרשת באמצעות 60 חיישני כוח (ראה פירוט בפרק: חומרים ושיטות) וכך התאפשרה מדידת הכוח המופעל על הרשת. מדידות אלה יאפשרו תכנון מיטבי של מבנה הרשת כתוצאה מכוחות הרוח.

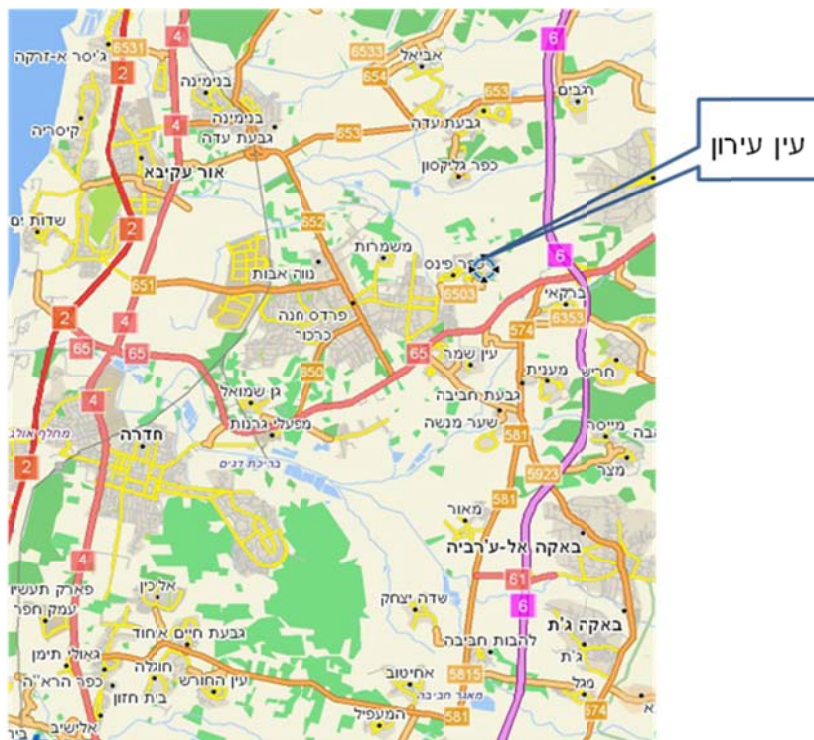
מטרת הניסוי

מטרת העל של המחקר היא פיתוח מבנה רשת אופטימאלי מבחינת חוזק המבנה ומבחינה מיקרו-אקלימית. המטרה הספציפית של הניסוי הנוכחי הייתה מדידת הכוחות שמפעילה רשת צל על המבנה, כתלות ברוח החיצונית, וההשתנות של כוחות אלה בזמן ובמרחב.

2. חומרים ושיטות

2.1. מיקום הניסוי

הניסוי התקיים בחלקה בה מגדלים אפרסק ומשמש באזור ישוב עין עירון, צפונית מזרחית לחדרה (איור 1).

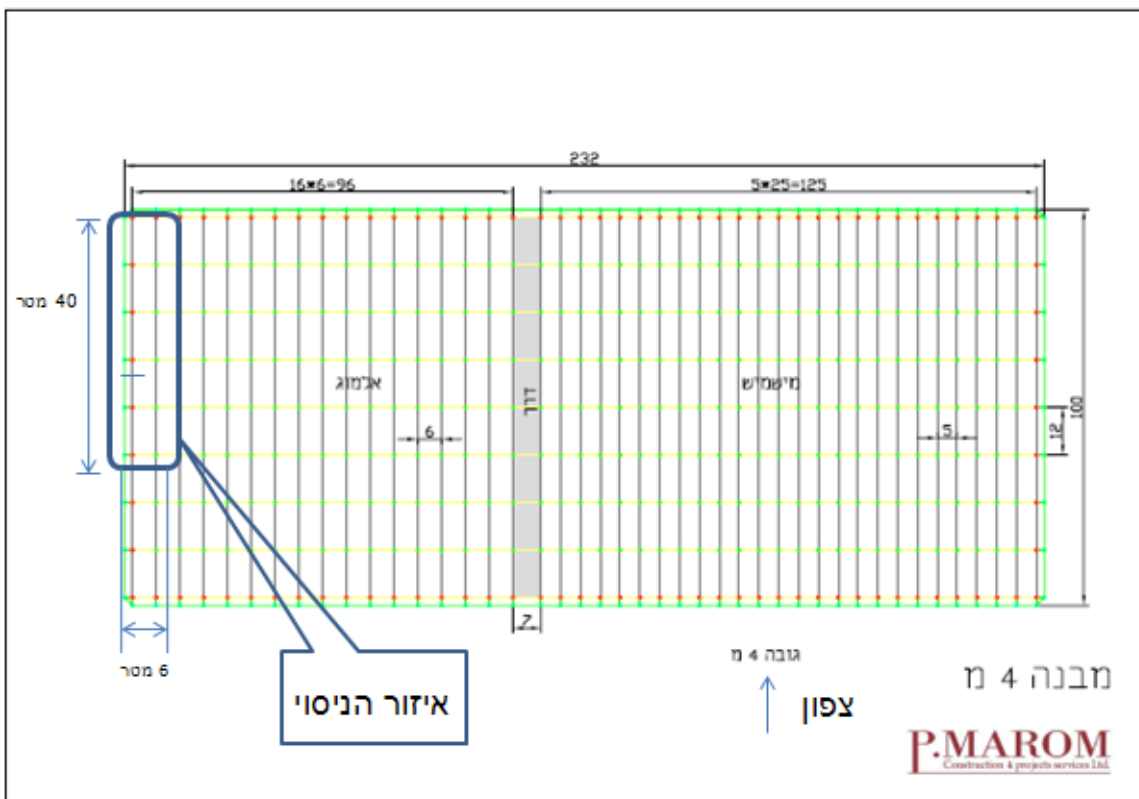


איור 1. מיקום בית הרשת על המפה.

2.2. נתוני בית הרשת

נתוני המבנה (איור 2)

- שטח כללי 23 דונם.
- גובה 4 מטרים.
- מרחק בין עמודים לרוחב המבנה 12 מטר (צפון - דרום).
- מרחק בין עמודים לאורך המבנה 5 מטר (מערב – מזרח).
- קוטר העמודים החיצוניים 90 מ"מ.
- קוטר העמודים הפנימיים 60 מ"מ.
- קוטר העמוד בקצה הצפון מערבי 110 מ"מ.
- עובי דופן העמודים חיצוניים ופנימיים: 2.5 מ"מ ו-2 מ"מ.
- קוטר כבלי מתיחה 5 מ"מ.



איור 2. שרטוט סכמטי של בית הרשת.

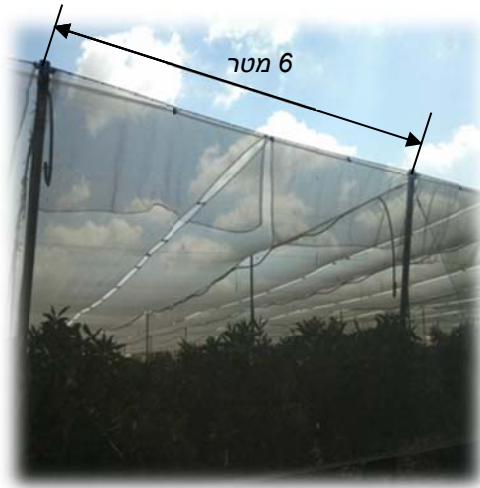
כפי שניתן לראות באיור 2, האזור בו הניסוי בוצע הוא הפינה הצפון מערבית החשופה ביותר לרוחות המגיעות מכוון הים.

נתוני הרשת

- עשויה מפוליאתילן PHD
- 27% חסימת רוח עפ"י נתוני יצרן.
- רשת ארוגה כאשר:
לאורך הרשת ברוחב של 10 ס"מ ישנם 12.5 זוגות של חוטים.
לרוחב הרשת. ברוחב של 10 ס"מ ישנם 40 חוטים.

עמוד 9 מתוך 28

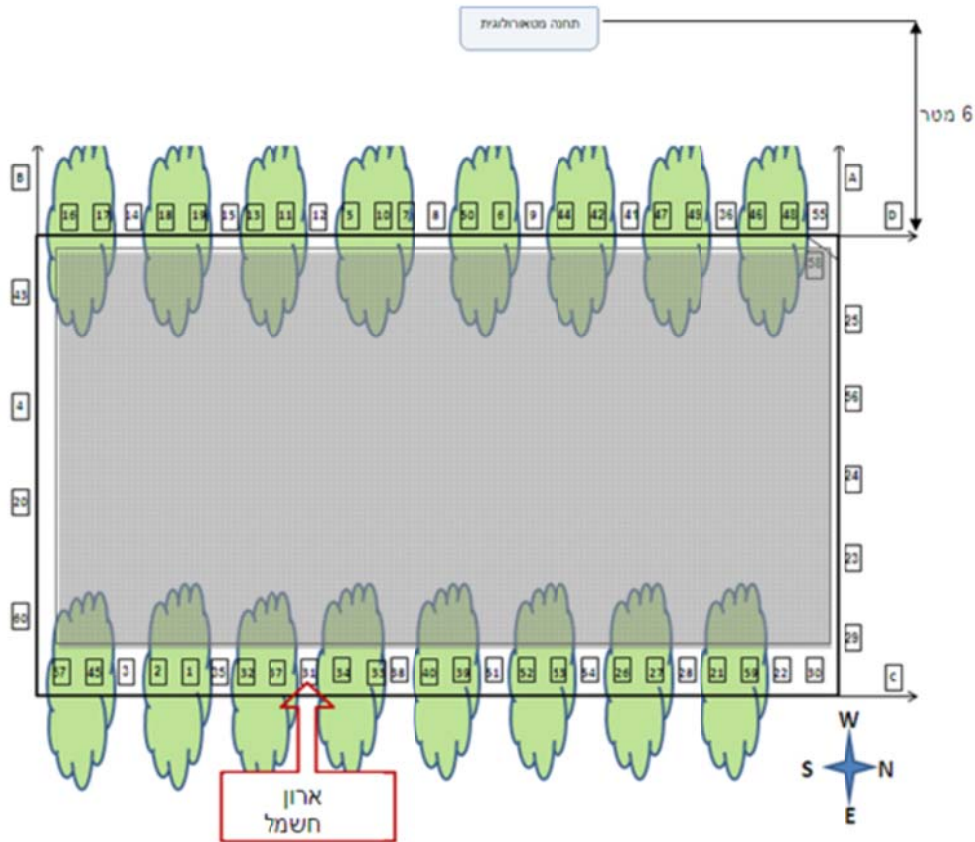
- עובי החוטים הוא 0.3 מ"מ.
 - משקל הרשת 0.07 ק"ג למ"ר.
 - אורך כל פרוסת רשת 40 מטר.
 - רוחב כל פרוסת רשת 3 מטר (איור 3) אך לצורך הניסוי הוחלפה הרשת באיזור הניסוי (איור 2) לפרוסה אחת בעלת רוחב כפול (6 מטר) ואורך 40 מטר.
- הרשת תפוסה ע"י תפסנים לכבלי המבנה כאשר מרחק בין כל תפסן הוא 1.4 מטר.



איור 3. צילום הרשת לפני שהוחלפה לרשת בעלת רוחב 6 מטר. במקור רוחב כל פרוסת רשת היה 3 מ'.

2.3. מיקום מערכת המדידות

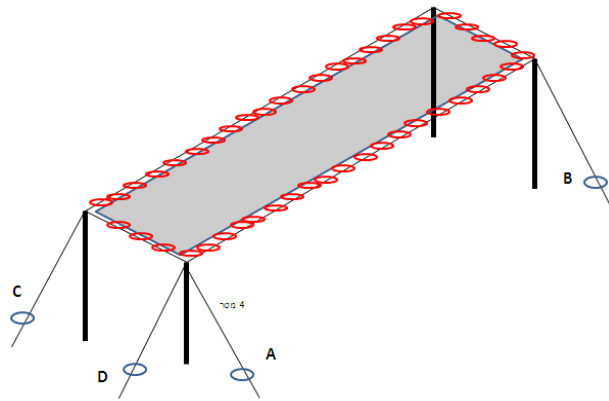
כפי שהוזכר, המדידות בוצעו בפינה הצפון מערבית של בית הרשת ופריסת הציוד למדידת הכוחות המופעלים על הרשת בנקודות השונות מתוארת באיור 4:



איור 4. מבט מלמעלה על מערך הניסוי. המספרים מציינים מספר מד כח ומיקומו.

כל מספר באיור 4 מסמל את מספר מתמר העומס, והחיישנים שמסומנים באותיות לטיניות מודדים כוח בכבלי העגינה.

באיור 5 משורטט באופן סכימטי בתלת מימד, לצורך המחשה, מיקום החיישנים ברשת ובכבלי העגינה. כל עגול אדום מציינ מד כח המחבר את הרשת לכבל והאותיות A, B, C, D מסמנות מדי כח שהוצבו על כבלי העגינה שמחברים את בית הרשת לקרקע.



איור 5. מיקום מדי הכח על קטע בית הרשת בו בוצע הניסוי.

2.4. ציוד המדידה

מתמר עומס



חיישן אשר מתרגם כוח לאות חשמלי. תפקידו המרכזי בפרויקט הוא לקרוא את הכוח אשר הרשת מפעילה על המבנה. במהלך הניסוי הופעלו 64 מתמרים שמדדו את הכוחות כפי שמשורטט באיורים 4 ו-5. החיישנים מתוצרת Keli Electric NingBo, China, עומס עד 100 ק"ג. בנוסף השתמשנו ב 4 מתמרים לעומס עד 1000 ק"ג מתוצרת Tede-Huntleigh, Vishay, Type 616.

תחנה מטאורולוגית



התחנה הוצבה כ-6 מ' מערבית לחלקת המדידה. היא הייתה מורכבת מתורן ו-4 מדי רוח מסוג Sonic4 של חברת Gill. התחנה מדדה את מהירויות הרוח וכיוונה בגבהים שונים מהקרקע.

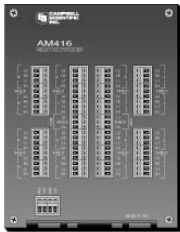
אוגר נתונים (דטלוגר)



אוגר נתונים תוצרת Campbell מסוג CR1000, דוגם ושומר נתונים שמתקבלים מכל חיישני המערכת בזמן אמת.

בניסוי זה נעשה שימוש בשתי יחידות. אחת אשר אוגרת נתונים של 8 חיישני כוח (מתוך סה"כ 64 החיישנים) ומד רוח בגובה כ-5.5 מטר בתדר של 1 הרץ, והשני ששומר את נתוני כל 64 מתמרי העומס ומד רוח בתדר של 1/3 הרץ.

מולטיפלקסר



נעשה שימוש בשני מולטיפלקסרים אנלוגיים מתוצרת Campbell, דגם AM416 ו-AM16/32B כדי להגדיל את מספר הכניסות באוגרי הנתונים.



באוגר נתונים מסוג CR1000 8 כניסות דיפרנציאליות ולכן קיים צורך בשימוש במולטיפלקסרים למדידת המספר הרב של מתמרי הכוח.

מודם סלולארי

מאחר ולכל דטלוגר זיכרון מוגבל (שני מיליון נתונים), אשר מספיק ליומיים של איסוף נתונים השתמשנו במודם סלולארי להעברת נתונים אלחוטית משטח הניסוי למחשב במעבדה.

MC55i Terminal

Version: 01.201a
DocId: MC55i_Terminal_HD_v01.201a



מצבר

מתח אספקה לכל המערכת הוא V12 וזרם שנצרך הוא כ-4 אמפר.

באזור הניסוי אין רשת חשמל ולכן יש צורך בשימוש במצבר.

נרכש מצבר פריקה עמוקה של חברת Trojan דגם 24TMX המספק מתח של 12 וולט ובעל קיבולת 85 אמפר שעה.

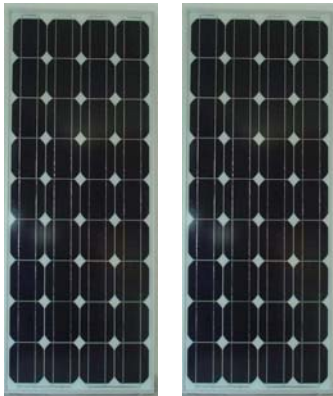
מצבר זה מסוגל לספק מתח למערכת במשך 21 שעות רצופות ולכן יש לטעון אותו. פעולת טעינת המצבר מתבצעת ע"י פאנלים סולאריים.



פאנל סולארי

למטרת טעינת המצבר הוצבו 2 פאנלים בעלי הספק של 85 וואט ופאנל יחיד שהספקו 10 וואט. הפאנלים הסולאריים חוברו במקביל האחד לשני וכך התקבל הספק כולל של 180 וואט. כלומר הפאנלים מסוגלים לספק במתח של 12 וולט זרם של 15 אמפר.

אם צריכת המערכת (מדי כח וציוד מדידה) היא 4 אמפר נשארו 11 אמפר לטובת טעינה בלבד.



מייצב מתח

תפקידו לייצב את מתח הספקה למתמרי העומס. תוצאת כל חיישן תלויה במתח אספקה, ולכן חשוב שיקבלו מתח מיוצב. צריכת המייצב היא כ-1 אמפר.

בקר טעינה

לבקר טעינה מספר תפקידים:

- מאריך את חיי המצברים.
- הבקר מאט את קצב הטעינה כאשר המצברים מלאים במתח DC ומאיץ את קצב הטעינה בזמן שהמצברים ריקים ממתח. בדרך זו המצברים נמצאים במצב מלא באופן תדיר ונמנעת התחממות המצברים.
- בשעות הלילה כאשר אין אספקת זרם מן הפאנלים, הבקר מונע העברת זרם מן המצבר לפאנלים.

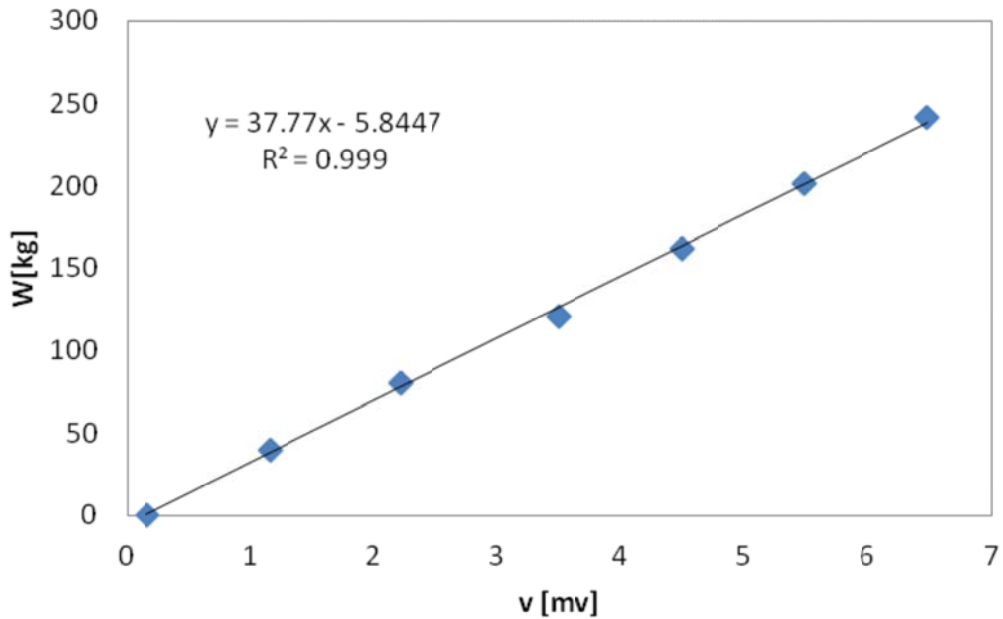
ארון חשמל

תפקידו לאחסן את כל רכיבי המערכת (חוץ מהחיישנים אשר פרוסים לפי סעיף 2.3). ארון החשמל מגן על כל הרכיבים מפגעי מזג אוויר.

2.5. כיוול מתמרי העומס

כפי שצוין בסעיף 2.4, בפרויקט זה נמדד הכוח הפועל על הרשת ועל כבלים המחוברים קטע מהמבנה לקרקע ע"י 64 חיישנים. החיישנים שהושמו על הכבלים המחוברים את המבנה לקרקע מסוגלים למדוד עד 1000 ק"ג. החיישנים המחוברים את הרשת לכבלים מסוגלים למדוד עד 100 ק"ג.

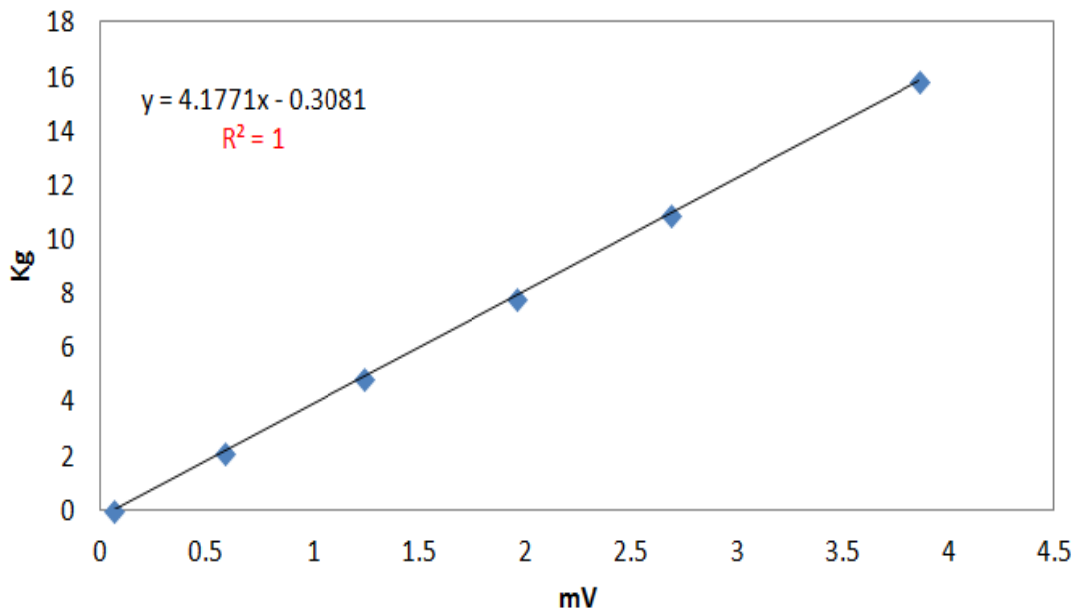
עבור ארבעת החיישנים שמוודים עד 1000 ק"ג נעשה כיוול מחדש. הכיוול נעשה במעבדה ע"י העמסת כל אחד מהמתמרים במשקלים שונים ומדידת המתח המתקבל בכל משקל. איור 6 מראה גרף של שינוי מתח כפונקציה של משקל. התקבל בכולם ש- R^2 קרוב מאוד ל-1, ולכן ניתן להגיד שחיישנים אלו ליניאריים ואפשר להשתמש בהם.



איור 6. גרף כיוול מתמרים לעומס עד 1000 ק"ג.

דוגמה לכיול מתמר

עבור המתמרים מבית Keli (המודדים עד 100 ק"ג) נעשה כיול עבור שש יחידות בלבד באופן אקראי ונמצא כי השגיאה בין הכיול שלנו לכיול של החברה הוא 1%, ולכן נבחר להשתמש בנתוני היצרן.



איור 7. גרף כיול מתמרים לעומס עד 100 ק"ג.

דוגמה של דף נתונים טכניים של היצרן



Eligible Certificate

Load Cell Implement Standard: GB/T7551-2008

ISO9001: 2008 Certified License No.: **MC** Metrological Manufacture Zhe No.00000577
 CALIBRATION IS PERFORMED AT NING BO, ZHE JIANG, WHERE THE LOCAL ACCELERATION OF GRAVITY IS 9.79357m/s²

Type Span: DEE100kg Product Serial No.: 5560715
 P.L.C: 0.7 Accuracy Class: C3

Technical Parameter

Sensitivity: <u>1.9992</u> mV/V	Input Resistance: <u>400.7</u> Ω
Zero Output: <u>0.31</u> % F.S	Output Resistance: <u>350.9</u> Ω
V _{min} : <u>0.029</u>	Safe Load Limit: <u>120</u> % F.S
E _{min} : <u>0</u>	Insulation Resistance: <u>5000</u> MΩ

Inspection Result: **ELIGIBLE** Quality Department: **QC-01**
 Inspector: **QC-03**

Inspection Date: 2012/01/11

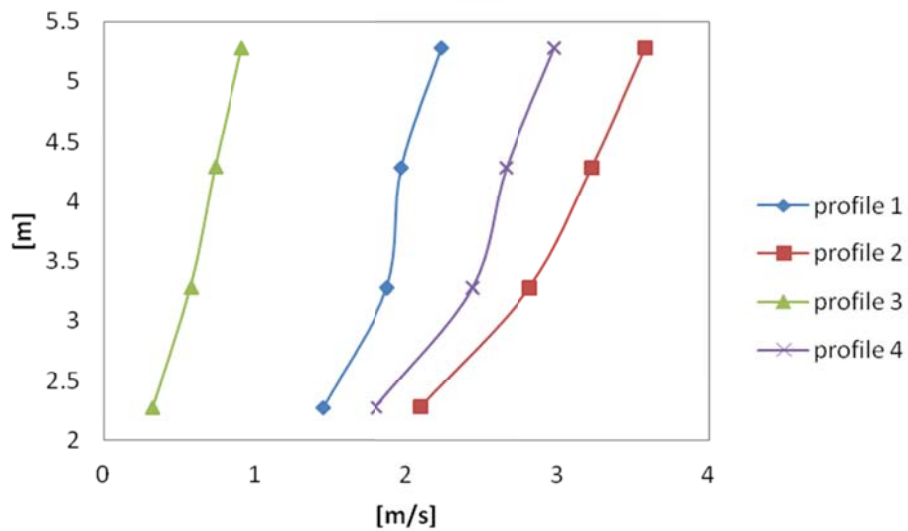
Exc: +Red -Black
 Sig: +Green -White
 Sen: +Blue -Yellow (Optional)
 Shield: Thick Black (Purple)



Keli Electric Manufacturing (Ning Bo) Co., Ltd
 Address: NO.199Changxing Road, Jiangbei District, NingBo, China
 TEL: 800-857-4115 400-887-4165 Fax: 86-574-87562271 P.C: 315033
 Http://www.kelichina.com E-mail: kelime@kelichina.com

3 תוצאות 3.1 פילוג הרוח החיצונית

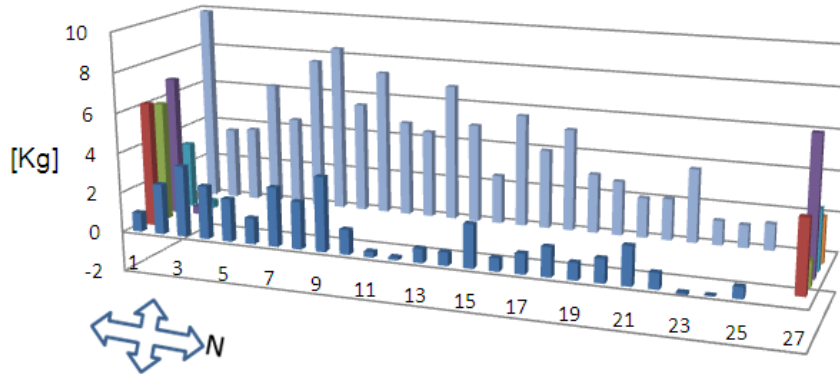
שורטט פרופיל מהירות רוח כפונקציה של גובה המדידה של מדי הרוח מהקרקע ונמצא כי העקומות מתאימות עם נתוני הספרות.



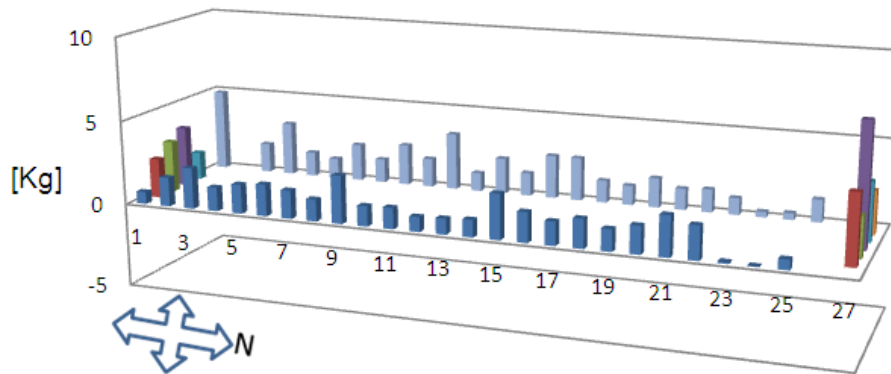
איור 8. מהירות הרוח כפונקציה של גובה המדידה, כאשר החיישנים ממוקמים בגובה 2.28, 3.28, 4.28 ו-5.28 מטר.

3.2 פילוג כוחות הפועלים על הרשת

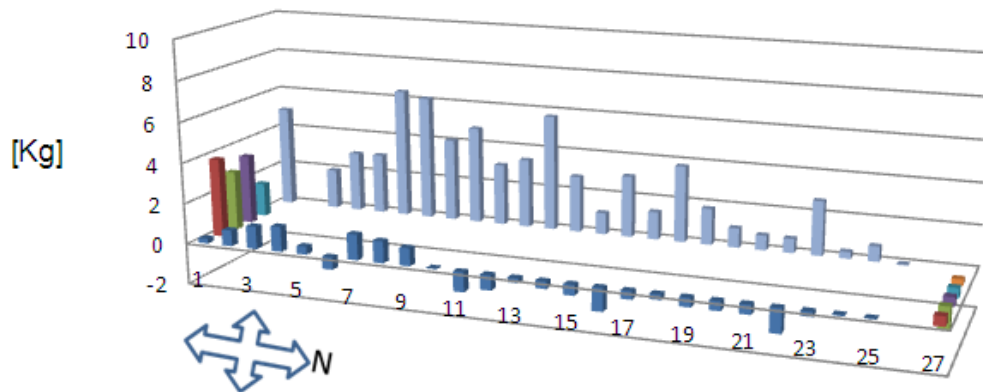
בגרפים הבאים (איורים 9, 10 – 1) ניתן לראות את פילוג הכוחות בהיקף הרשת שהתקבלו ממתמרי הכוח, במהירות גבוהה, ובמהירות נמוכה.



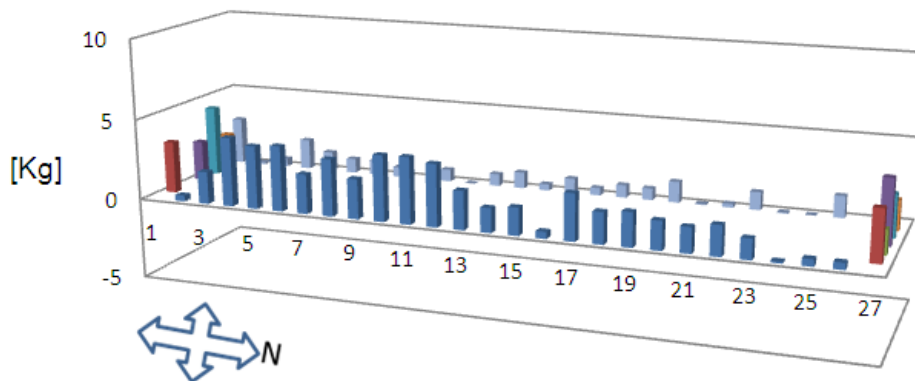
איור 9. פילוג כוחות ברשת כאשר מהירות הרוח 10.23 מטר לשנייה וכיוונה 223 מעלות (רוח דרום מערבית).



איור 10. פילוג כוחות ברשת כאשר מהירות הרוח זניחה (0.03 מטר לשנייה).



איור 11. פילוג של הפרש כוחות ברשת בין מדידה ברוח חזקה (איור 9) לבין מדידות במצב סטטי ללא רוח (איור 10).



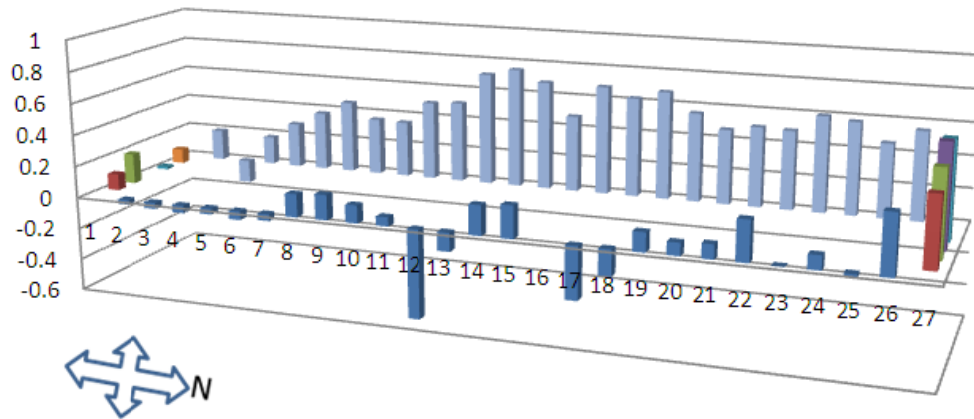
איור 12. פילוג כוחות ברשת כאשר כיוון הרוח מזרחית (85 מעלות), וגודלה 10.61 מטר לשנייה

כפי שרואים מאיור 12, יש התהפכות של מיקום הכוחות המקסימאליים ברשת כאשר כיוון הרוח הוא מזרחי. כשהרוח הייתה דרום מערבית (איור 9) הכוחות החזקים פעלו על החיישנים המחוברים לכבל המערבי בעוד שכשהרוח מכוון מזרח הכוחות החזקים פועלים על הכבל המזרחי במקטע עליו נמדדו הכוחות. אם מסתכלים על גודל הכוחות במקרה של רוח דרום מערבית (איור 9) לעומת רוח מזרחית (איור 12), אפשר לראות שהמתיחות הנמדדת בחיישנים כאשר כיוון הרוח הוא דרום מערבי גדולה יותר, וזה נובע מהעובדה שהחיישנים המחוברים את הרשת לכבל המערבי נמצאים בהיקף החיצוני של בית הרשת, כלומר אין הפרעה לרוח המגיעה לבית הרשת מכיוון זה בעוד שהרוח המגיעה ממזרח עוצמתה בגובה פני הרשת קטנה יותר בשל החיכוך עם הרשת לאורך כל בית הרשת (ראה כיוון בית רשת ביחס לצפון באיור 2).

3.3 פילוג קורלציות

חושבו קורלציות בין מהירות הרוח לבין הכוח שנמדד בחיישנים השונים שמסביב לרשת. נבנה גרף תלת מימדי עם קורלציות אלו על מנת להבין את השפעת שינוי גודל המהירות בשינוי הכוח בחיישנים. הגרף בנוי מנתונים שנמדדו בטווח מהירויות בין 0 ל-13.77 מטר לשנייה ובטווח כיווני רוח הנע בין 260 ל-280 מעלות (רוח מערבית) בפרק זמן רצוף של 5 דקות. התקבלו קורלציות גבוהות יותר בחיישנים החשופים ראשונים לרוח, כלומר כשהרוח נושבת

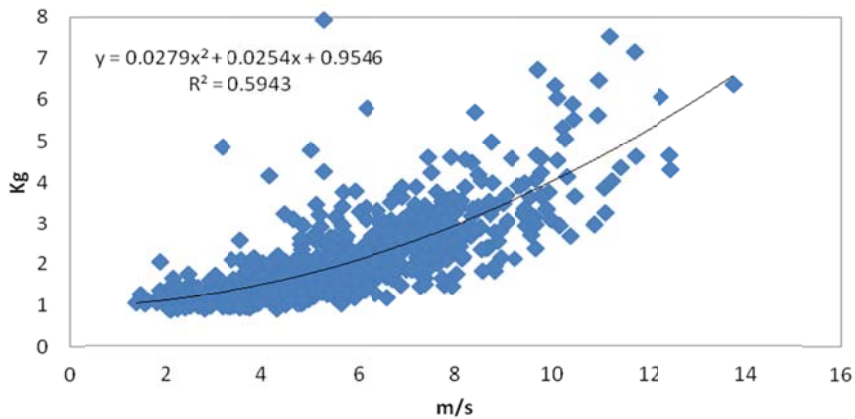
מכיוון צפון מערבי, החיישנים המודדים את ערכי הרוח הגבוהים יותר היו אלה המותקנים בצד הצפון מערבי.
 הערה: הנתונים ששימשו לחישוב הקורלציות נמדדו בקצב של אחת לשלוש שניות.



איור 13. גרף קורלציות בין מהירות הרוח לכוח הנמדד בכל חיישן.

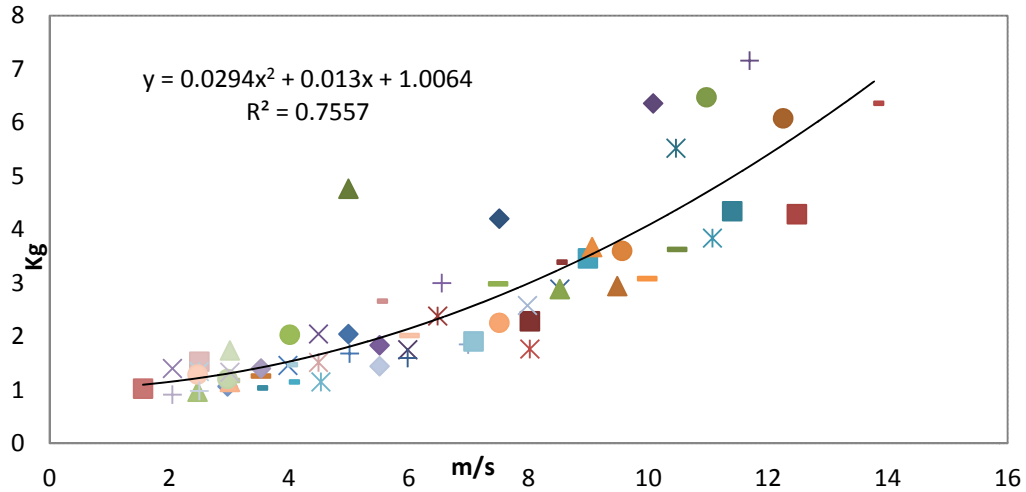
3.4 ניתוח נתונים עבור חיישן אחד

בגרפים הבאים מוצגים נתונים עבור חיישן מספר 7 (ניתן לראות את מיקומו בסעיף 2.3) במהירויות שונות ובטווח כיווני רוח הנע בין 260 ל-280 מעלות.



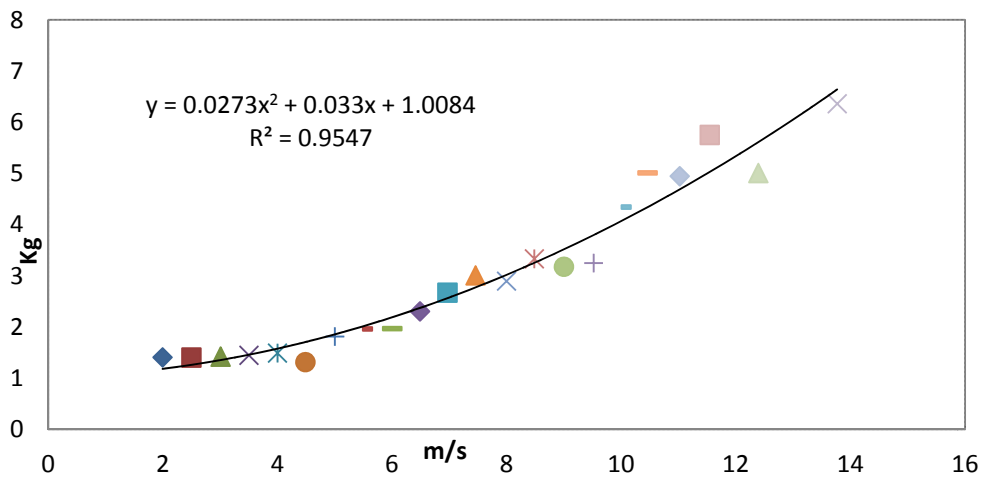
איור 14. הכוח שנמדד בחיישן מס' 7 כתלות במהירות הרוח. מוצגות מדידות בהן כיוון הרוח היה בין 260 ל-280 מעלות.

איור 14 מתאר את כל הנקודות שנמדדו בפרק זמן של חמש שעות כאשר נתונים אלו עברו סינון על מנת לקבל רק את המדידות בהם כיוון הרוח היה בין 260 ל-280 מעלות.



איור 15. כוח כפונקציה של מהירות רוח לאחר סינון נתונים.

איור 15 נבנה בעזרת סינון ראשוני של נקודות. נבחרו מדידות בהן מהירות הרוח הייתה קבועה לאורך זמן של 10 שניות לפחות. ניתן לראות שמתקבל R^2 גדול יותר מאשר באיור 14.



איור 16. כוח כפונקציה של מהירות הרוח עבור נתונים ממוצעים.

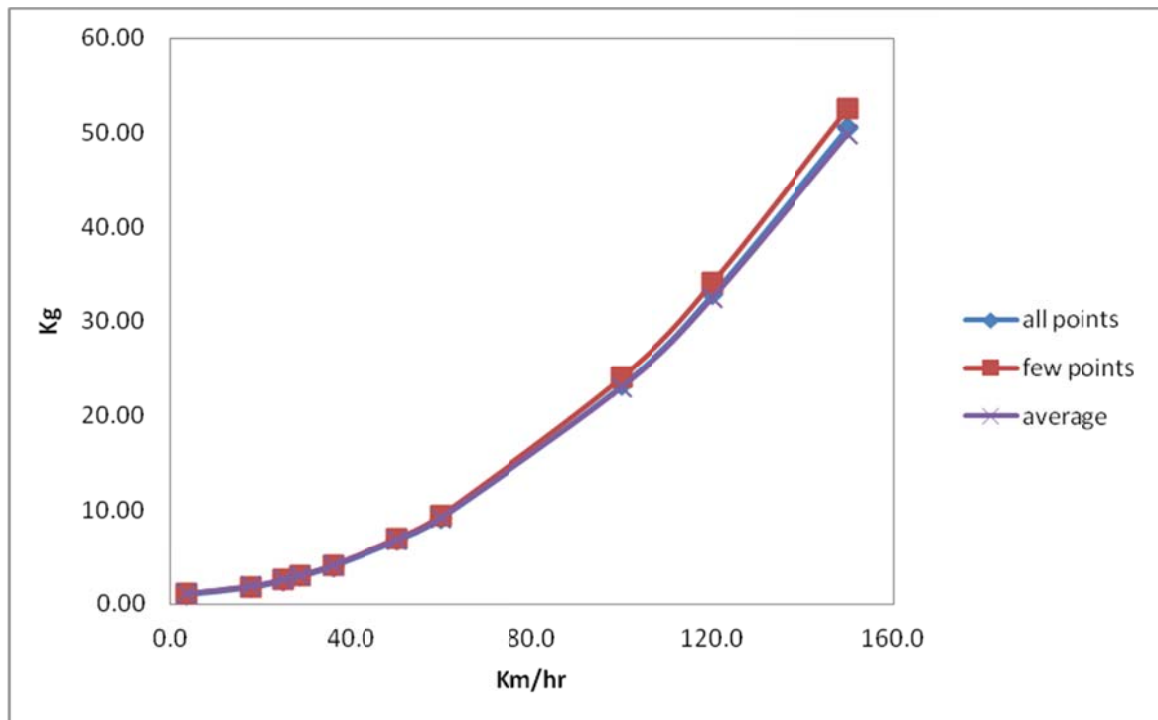
איור 16 נבנה לפי השלבים הבאים:

1. סינון לפי מהירות רוח נתונה ± 0.1 מטר לשנייה. לדוגמא נבחרו כל המהירויות 1 מטר לשנייה ± 0.1 גם אם לא הופיעו בצורה רציפה בזמן.
2. חישוב ממוצע המהירות של כל הנקודות וממוצע הכוח המתקבל בטווח המהירויות הללו.
3. חזרה על שלבים 1 ו 2 בהפרשי מהירות של 0.5 מטר לשנייה בתחום 2 - 14.5 מטר לשנייה.

נתוני כוח כפונקציה של מהירות הרוח - מחושב מקווי רגרסיה

בטבלה הבאה נעשתה אקסטרפולציה לעקומות שהתקבלו באיורים 14, 15 ו-16. איור 17 מציג את הנתונים באופן גרפי.

	WS [Km/hr]	WS [m/s]	all points [Kg]	few points [Kg]	average [Kg]
מדידות	3.6	1.0	1.01	1.05	1.07
	18.0	5.0	1.78	1.81	1.86
	25.2	7.0	2.50	2.54	2.58
	28.8	8.0	2.94	2.99	3.02
	36.0	10.0	4.00	4.08	4.07
	50.4	14.0	6.78	6.95	6.82
המשך העקומה (אקסטרפולציה)	60.0	16.7	9.13	9.39	9.14
	100.0	27.8	23.19	24.05	22.99
	120.0	33.3	32.80	34.11	32.44
	150.0	41.7	50.45	52.59	49.78



איור 17. השוואה בין עקומות שנבנו מנתונים שהוצגו באיורים 14, 15 ו-16; האיור כולל אקסטרפולציה למהירות רוח גבוהה מזו שנמדדה בניסויים.

3.5 חישוב מאמצים על פני הרשת כתוצאה מכוחות רוח.

1. חישוב הפרשי הכוחות בין המצב בו יש רוח בכיוון 260~280 לבין מצב בו אין רוח (סטטי).
2. ביצוע סכום כל הפרשים שנמדדו בחישובים השונים מסביב לרשת ושחושבו בסעיף הקודם.
3. חלוקת סכום הכוחות בשטח הרשת על מנת לקבל תוצאה בניוטון למ"ר.

sum for delta force [Kg]	sum for delta force [N]	Force per unit area [N/m ²]	delta wind [m/s]
87.185	855.3	3.055	10.21
49.809	488.6	1.745	8.47
10.012	98.2	0.351	6.88
5.581	54.7	0.196	5.18
0.25	2.5	0.009	3.68
4.818	47.3	0.169	2.51
1.197	11.7	0.042	1.23

4 דיון ומסקנות עיקריות

מערכת הניסוי שהורכבה בעין עירון אפשרה מדידת כוחות הפועלים בין רשת הצללה המתוחה מעל מטע עצים ובין הכבלים הפרושים בין עמודי בית הרשת ואשר מחזיקים את הרשת. המדידות נערכו בקטע רשת קיצוני של בית הרשת, החשוף לרוחות. למיטב ידיעתנו, עד היום לא נעשה ניסוי מסוג זה.

תוצאות המדידה מראות שהכוחות הפועלים בין הרשת והכבלים המחזיקים אותה גדלים באופן לא ליניארי עם מהירות הרוח. בעבודה זו פולינום מסדר שני נתן התאמה טובה בין הכוחות הפועלים ומהירות הרוח. הכוחות הפועלים בין הרשת והכבל חזקים יותר בהיקף בית הרשת (בכבלים החיצוניים) וקטנים יותר בכבלים הפנימיים. אקסטרפולציה של נתוני המדידה מראה שערכו של הכוח המקסימאלי הפועל במהירות רוח של כ 150 קמ"ש בין הכבל והתפסן המחזיק את הרשת לכבל הוא כ 50 ק"ג.

הקורלציה בין מהירות הרוח והכוחות המתפתחים בתפסנים המחברים את הרשת לכבל גבוהה יותר בתפסנים הנמצאים במעלה הרוח של הרשת. קורלציה נמוכה יותר נרשמה בתפסנים הנמצאים במורד הרוח של הרשת.

מעבודה זו נראה שאפשר להסתפק בתפסנים המסוגלים לשאת כוחות קטנים יותר במרכז בית הרשת ובהיקף החיצוני של בית הרשת יש צורך להשתמש בתפסנים המסוגלים לשאת כוחות של כ 50 ק"ג.

מחקר זה יכול לשמש בסיס לעבודת מחקר עתידית שתבצע סימולציה נומרית (ממוחשבת) של הכוחות כתלות במהירות הרוח, ותאפשר חישוב אופטימאלי של מבנה רשת.

לייבוביץ', א., שוורץ, ס., אטלס, ע. (2008). מדריך ליישום ת"י 414 (2008): עומסים אופייניים במבנים – עומס רוח. המכון הלאומי לחקר הבנייה ומכללת סמי שמעון.

Briassoulis, D., Mistriotis, A. and Eleftherakis, D. (2007). Mechanical behavior and properties of agricultural nets. Part II: Analysis of the performance of the main categories of agricultural nets. *Polymer Testing*, 26, 970-984.

Briassoulis, D., Mistriotis, A. and Giannoulis, A. (2010). Wind forces on porous elevated panels. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 98, 919-928.

Brundrett, E. (1993). Prediction of pressure drop for incompressible flow through screens. *Journal of Fluids Engineering*, 115, 239-242.

Carrothers, P. J. G. and Baines, W. D. (1975). Forces on screens inclined to a fluid flow. *Transactions of the ASME, Journal of Fluids Engineering*, March, pp. 116-117.

Dicken, U., Tanny, J., Grava, A., Cohen, S. (2009). A young banana plantation in a screenhouse: microclimate and the plant's water use efficiency. *The Planter's Bulletin (Alon H'anotea)*, December, 63(11):35-39.

Dicken, U., Cohen, S., Grava, A., Tanny, J. (2011). Water consumption of screenhouse banana plantations in different climatic regions in Israel: Measurements and models. *The Planter's Bulletin (Alon H'anotea)*, August-September, 65(8):20-24.

Gjosund, S. H. and Enerhaug, B. (2010). Flow through nets and trawls of low porosity. *Ocean Engineering*, 37, 345-354.

Koo, J. K. and James, D. F. (1973). Fluid flow around and through a screen. *J. Fluid Mech.*, 60(3), 513-538.

Laws, E. M. and Livesey, J. L. (1978). Flow through screens. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 10, 247-266.

Möller, M., Tanny, J., Li, Y. and Cohen, S. (2004). Measuring and predicting evapotranspiration in an insect proof screenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, 127, 35-51.

Robertson, A. P., Roux, Ph., Gratraud, J., Scarascia, G., Castellano, S., Dufresne de Virel, M., and Palier, P. (2002). Wind pressures on permeably and impermeably-clad structures. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90(4-5), 461-474.

Tanny, J. and Cohen, S. (2003). The effect of a small shade net on the properties of wind and selected boundary layer parameters above and within a citrus orchard. *Biosystems Engineering*, Vol. 84(1), pp. 57-67.

- Tanny, J., Cohen, S. and Teitel M. (2003). Screenhouse microclimate and ventilation: an experimental study. *Biosystems Engineering*, Vol. **84**(3), pp. 331-341.
- Tanny, J., Möller, M., Cohen, S., Teitel M., Raveh, E., Seker, I. and Grava, A. (2003). Characterizing microclimate in a screenhouse in which pepper is grown. *Garden, Field and Farm (Gan, Sadeh U'Meshek)*, May, 5:49-54.
- Tanny, J., Cohen, S., Grava, A., Naor, A. and Lukyanov, V. (2006a). The effect of shading screens on microclimate in an apple orchard. *The Planter's Bulletin (Alon H'anotea)*, March, 60(3):24-29.
- Tanny, J., Haijun, L. and Cohen, S. (2006b). Airflow characteristics, energy balance and eddy covariance measurements in a banana screenhouse, *Agricultural and Forest Meteorology*, 139, 105-118.
- Tanny, J., S. Cohen, D. Elmowitz, A. Grava and L. Haijun (2006c). Measuring and predicting evapotranspiration in a banana screenhouse. *Acta Horticulturae*, 718, pp. 539-545.
- Tanny, J., Teitel, M., Barak, M., Esqira, Y. and Amir, R. (2007). The effect of screenhouse height on microclimate. *Mechanization and Engineering in Agriculture (Mikun Ve'Handasa Be'Haklout)*, August, 51(4): 24-28.
- Tanny, J., Teitel, M., Barak, M., Esqira, Y. and Amir, R. (2008). The effect of screenhouse height on microclimate. *Acta Horticulturae*, 801, 107-114.
- Tanny, J., Möller, M., Cohen, S. (2009). Aerodynamic properties of boundary layers along screens *Biosystems Engineering*, 102, 171-179.
- Tanny, J., Cohen, S., Grava, A., Naor, A. and Lukyanov, V. (2009). The effect of shading screens on microclimate of apple orchards. *Acta Horticulturae*, 807, 103-108.
- Tanny, J., Dicken, U., Cohen, S. (2010). Vertical variation in turbulence statistics and energy balance in a banana screenhouse. *Biosystems Engineering*, 106(2), 175-187.
- Teitel, M., D. Dvorkin, Y. Haim, Tanny, J., I. Seginer (2009). Comparison of measured and simulated flow through screens: Effects of screen inclination and porosity. *Biosystems Engineering*, 104, 404-416.
- Teitel, M (2011). On the applicability of the Forchheimer equation in simulating flow through woven screens. *Biosystems Engineering*, 109, 130-139.
- Teitel, M (2010). Using Computational Fluid Dynamics Simulations to Determine Pressure Drops on Woven Screens. *Biosystems Engineering*, 105: 172-179.
- Teitel, M. (2001). The effect of insect proof screens in roof openings on greenhouse microclimate. *J. Agricultural and Forest Meteorology*, 110: 13-25.

- Teitel, M. (2007). The effect of screened openings on greenhouse microclimate – Review article. *J. Agricultural and Forest Meteorology*, 143: 159-175.
- Teitel, M., Shklyar, A. (1998). On the pressure drop across insect-proof screens. *Transactions of the ASAE*, 41(6): 1829-1834.
- Teitel, M. and Wenger, E. (2010). The effect of screenhouse roof shape on the flow patterns – CFD simulations. *Acta Horticulturae*, 927, 603-610.

6 תמונות מאתר הניסוי



תמונה 1: פינה צפון מערבית



תמונה 2: כבל מערבי (מדרום לצפון)



תמונה 3: אחיזה בין הכבל לרשת



תמונה 4 : כבל צפוני (שקיעת הכבל)



תמונה 5: שביל בין שורות גידול

7 תודות

תודה לחברת פ. מרום אשר רכשו והתקינו את מתמרי העומס ברשת, החליפו את הרשת לפי צרכי הניסוי, וסייעו בביצוע הניסויים.
תודה למועצת הצמחים, ענף הפירות, על מימון המחקר.