

459-0109-99

קוד מחקר:

נושא: אוורור חממות המצויידות ברשתות נגד חרקים

מוסד: מינהל המחקר החקלאי, ת.ד. 6 בית דגן 50250

חוקר ראשי: דר' מאיר טייטל

חוקרים שותפים: 3

1997-1999

תקופת מחקר:

מאמרים:

תקציר

קטילת מזיקים הפוגעים בגידולים חקלאיים וגורמים לנזק כספי גדול, נעשית כיום בעיקר ע"י חומרי הדברה כימיים. אף שהחומרים הכימיים ימשיכו, כפי הנראה, להיות גורם משמעותי במלחמה נגד המזיקים, יש לפתח אמצעים אחרים מאחר ולחומרי ההדברה חסרונות רבים. נוסף על כך, תקנות חדשות המוצאות ע"י מדינות רבות בעולם מצמצמות בצורה משמעותית את האפשרויות ליישום חומרי ההדברה. על מנת להפחית את כמות חומרי ההדברה המרוססים בחממות, החלו חקלאים להשתמש בשנים האחרונות ברשתות נגד חרקים המותקנות בכניסה לחממות ועל פתחי האוורור, שתפקידם לחסום את מעבר החרקים לחממה באופן מכני. למרות שדיווחים מחקלאים מצביעים על יעילות הרשתות בצמצום חדירת מזיקים, לא נעשתה עבודה מספקת לתיעוד המיקרואקלים המתפתח בחממות המצוידות בפתחי רשת גדולים או בבתי רשת גדולים העשויים מרשת צפופה נגד חרקים. בהשוואה לעבודה הרבה שנעשתה בחממות המכוסות בזכוכית וביריעות פלסטיק, מספר העבודות בעולם על האקלים בחממות עם רשתות מועט ביותר.

מטרת המחקר: ללמוד את ההשפעה שיש לרשתות צפופות (כדוגמת "50 מש") המותקנות בחממה על המיקרואקלים המתפתח בה. לעודד את השימוש ברשתות נגד מזיקים כאמצעי להפחתת השימוש בחומרי הדברה מחד, וכאמצעי המאפשר יישום הדברה ביולוגית בצורה יעילה יותר מאידך.

מהלך העבודה: ביצענו ניסויים ופיתחנו מודל תיאורטי לחיזוי הטמפרטורה בחממה המאווררת ע"י פתחי גג מרושתים. הניסויים נערכו בשלשה אתרים. בשנה הראשונה בוצעו הניסויים בשתי חממות מסחריות במושב רנן ובמקביל נמדדו אופייני רשתות במנהרת רוח בבית דגן. בשנה השנייה והשלישית נערכו הניסויים במו"פ דרום בחבל הבשור, ובמקביל נערכו ניסויים במנהרות רוח בבית דגן וחוות גילת. בשלשת השנים התמקדו הניסויים במדידת פרמטרים אקלימיים ובנטור חדירת מזיקים לחממות. הניסויים במושב רנן נערכו בחממות מסחריות סמוכות, האחת בעלת כיסוי גג העשוי יריעת פוליאטילן מסויידת, והשנייה עם כיסוי רשת "50 מש" בגג.

תוצאות: לא נמצאו הבדלים משמעותיים בטמפרטורת האוויר בין שתי החממות. לעומת זאת, הייתה הלחות היחסית של האוויר בחממה עם כיסוי הרשת מעט גבוהה (כ 20% יותר) מזו שבחממה השנייה. מהירות האוויר במרכז החממה המכוסה יריעת פלסטיק, בגובה צמרות הצמחים, הייתה גבוהה פי שתיים בשעות הצהריים בהן הרוח החיצונית מתגברת, בהשוואה לחממה המכוסה רשת. יחד עם זאת,

הקרינה ורמת האור בחממה המכוסה פוליאטילן מסוייד היו נמוכים ב 30% מאלו שבחממה עם כיסוי רשת. נבנתה מערכת המאפשרת מדידת קצב אוורור של חממות. המערכת מבוססת על מדידת קצב הדעיכה של גז סימון  $N_2O$ . נמדד קצב האוורור של חממה בשטח דונם המאווררת ע"י פתחי גג בלבד ופתחי גג בשילוב פתחי צד. נמדדו טמפרטורות ולחויות בגבהים שונים בחממות המאווררות ע"י פתחי גג בהם הותקנו רשתות. נבחנו שלושה מקרים: חלונות הגג היו מכוסים ברשתות "50 מש", "17 מש" ו "22 צל". נערכו צילומי עשן על מנת לאפיין את זרימת האוויר על יד חלונות הגג. הניסויים מאמתים את ההנחה שבחממה שבה הרשת על פתחי האוורור צפופה יותר, הטמפרטורה והלחות גבוהים יותר וחדירת המזיקים והנגיעות בצמחים נמוכה יותר. מספר חילופי האוויר בחממה המאווררת ע"י פתחי גג בהם מותקנות רשתות "50 מש" היה קטן פי שלוש לערך ממספר חילופי האוויר באותה חממה ללא רשתות על הפתחים. כאשר החממה מאווררת ע"י שלוב של פתחי גג וצד, ההשפעה של צפיפות הרשת על האקלים בחממה הולכת וקטנה ככל שהיחס בין שטח חלונות הצד לשטח חלונות הגג הולך וגדל. כאשר שטח חלונות הצד שווה לשטח חלונות הגג לצפיפות הרשת בחלונות הגג השפעה זניחה על המיקרואקלים.

**מסקנות:** תוצאות ראיית הזרימה ולכידת כע"ט בתוך החממה מראות כי ניתן כנראה לבצע אופטימיזציה של פתחי הגג והרשתות המותקנות עליהם מאחר ואופייני הזרימה אינם זהים בכל הגמלונים. ישנם גמלונים בהם רוב הזמן, כפי הנראה, משטר זרימת האוויר דרך הפתח הוא מהחממה כלפי חוץ. לכן, בגידולים פחות רגישים לכנימת עש הטבק כמו פלפל ניתן להתקין בחלונות אלה רשת דלילה יותר כדוגמת "17 מש", התורמת לשיפור האוורור ומצליחה להוריד את הטמפרטורה והלחות לערכים נמוכים מאלה המתקבלים עם רשת "50 מש". כיסוי פתחי האוורור ברשתות הקטין את מספר טיפולי ההדברה באופן משמעותי בהשוואה לרמה שהייתה מקובלת בעבר בחממות ללא כיסוי פתחים. הממצאים הבאים ממחקר זה מעידים שחדירת כע"ט למבנה החממה הייתה בעיקר מפתחי הגג במקרים בהם הותקנה רשת דלילה בפתח. נראה שהחדירה והפיזור הראשוני של הכע"ט במבנה החממה הוא ברובו תהליך פסיבי.

# אורור חממות המצוידות ברשתות נגד חרקים

סייסל מאיר<sup>1</sup>, ברלינגר מנחם<sup>2</sup>, ברק מוסי<sup>1</sup>, שמואל דוד<sup>3</sup>

- <sup>1</sup> המכון להנדסה חקלאית, מרכז וולקני, ת.ד. 6 בית דגן, 50250.  
<sup>2</sup> תחנת ניסויים גילת, ד.נ. נגב, 85280.  
<sup>3</sup> מ"פ דרום, תחנת ניסויים חוות הבשור, ד.נ. נגב 4, 85400.

## Ventilation of Insect-Proof Greenhouses

M. Teitel<sup>1</sup>, M.J. Berlinger<sup>2</sup>, M. Barak<sup>1</sup>, D. Shemuel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Agricultural Engineering, A.R.O., the Volcani Center, P.O.Box 6, Bet Dagan, Israel 50250. Grteitel@agri.gov.il

<sup>2</sup> Entomology Laboratory, A.R.O, Gilat Regional Experimental Station, Mobile Post Negev, Israel 85280.

<sup>3</sup> Besor Experimental Station, Mobile Post Negev 4, Israel 85400.

דו"ח סופי - תוכנית 459-0109

תת נושא: השפעת הרשתות בחלונות גג וכיסויים על חדירת מזיקים לחממות.

### מאת:

ד"ר מנחם י. ברלינגר, שרה לביוש-מרדכי ודבורה פריגיה, המעבדה לאנטומולוגיה, ת.נ. גילת.

דוד בן-יקיר ומיכאל חן, אנטומולוגיה, הגה"צ, מנהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני.

ד"ר מאיר טייטל, המכון להנדסה חקלאית, מרכז וולקני.

קטילת מזיקים הפוגעים בגידולים חקלאיים וגורמים לנזק כספי גדול, נעשית כיום בעיקר ע"י חומרי הדברה כימיים. אף שהחומרים הכימיים ימשיכו, כפי הנראה, להיות גורם משמעותי במלחמה נגד המזיקים, יש לפתח אמצעים אחרים מאחר ולחומרי ההדברה חסרונות רבים. נוסף על כך, תקנות חדשות המוצאות ע"י מדינות רבות בעולם מצמצמות בצורה משמעותית את האפשרויות ליישום חומרי ההדברה. על מנת להפחית את כמות חומרי ההדברה המרוססים בחממות, החלו חקלאים להשתמש בשנים האחרונות ברשתות נגד חרקים המותקנות בכניסה לחממות ועל פתחי האוורור, שתפקידם לחסום את מעבר החרקים לחממה באופן מכני. למרות שדיווחים מחקלאים מצביעים על יעילות הרשתות בצמצום חדירת מזיקים, לא נעשתה עבודה מספקת לתיעוד המיקרואקלים המתפתח בחממות המצוידות בפתחי רשת גדולים או בבתי רשת גדולים העשויים מרשת צפופה נגד חרקים. בהשוואה לעבודה הרבה שנעשתה בחממות המכוסות בזכוכית וביריעות פלסטיק, מספר העבודות בעולם על האקלים בחממות עם רשתות מועט ביותר. מטרת המחקר ללמוד את ההשפעה שיש לרשתות צפופות (כדוגמת "50 מש") המותקנות בחממה על המיקרואקלים המתפתח בה. לעודד את השימוש ברשתות נגד מזיקים כאמצעי להפחתת השימוש בחומרי הדברה מחד, וכאמצעי המאפשר יישום הדברה ביולוגית בצורה יעילה יותר מאידך. במסגרת העבודה ביצענו ניסויים ופיתחנו מודל תיאורטי לחיזוי הטמפרטורה בחממה המאווררת ע"י פתחי גג מרושתיים. הניסויים נערכו בשלושה אתרים. בשנה הראשונה בוצעו הניסויים בשתי חממות מסחריות במושב רנן ובמקביל נמדדו אופייני רשתות במנהרת רוח בבית דגן. בשנה השניה והשלישית נערכו הניסויים במו"פ דרום בחבל הבשור, ובמקביל נערכו ניסויים במנהרות רוח בבית דגן וחוות גילת. בשלושת השנים התמקדו הניסויים במדידת פרמטרים אקלימיים ובניטור חדירת מזיקים לחממות. הניסויים במושב רנן נערכו בחממות מסחריות סמוכות, האחת בעלת כיסוי גג העשוי יריעת פוליאטילן מסויידת, והשניה עם כיסוי רשת "50 מש" בגג. לא נמצאו הבדלים משמעותיים בטמפרטורת האוויר בין שתי החממות. לעומת זאת, הייתה הלחות היחסית של האוויר בחממה עם כיסוי הרשת מעט גבוהה (כ 20% יותר) מזו שבחממה השניה. מהירות האוויר במרכז החממה המכוסה יריעת פלסטיק, בגובה צמרות הצמחים, הייתה גבוהה פי שתיים בשעות הצהריים בהן הרוח החיצונית מתגברת, בהשוואה לחממה המכוסה רשת. יחד עם זאת, הקרינה ורמת האור בחממה המכוסה פוליאטילן מסוייד היו נמוכים ב 30% מאלו שבחממה עם כיסוי רשת. נבנתה מערכת המאפשרת מדידת קצב אוורור של חממות. המערכת מבוססת על מדידת קצב הדעיכה של גז סימון  $N_2O$ . נמדד קצב האוורור של חממה בשטח דונם המאווררת ע"י פתחי גג בלבד ופתחי גג בשילוב פתחי צד. נמדדו טמפרטורות ולחויות בגבהים שונים בחממות המאווררות ע"י פתחי גג בהם הותקנו רשתות. נבחנו שלושה מקרים: חלונות הגג היו מכוסים ברשתות "50 מש", "17 מש" ו "22 צל". נערכו צילומי עשן על מנת לאפיין את זרימת האוויר על יד חלונות הגג. הניסויים מאמתים את ההנחה שבחממה שבה הרשת על פתחי האוורור צפופה יותר, הטמפרטורה והלחות גבוהים יותר וחדירת המזיקים והנגיעות בצמחים נמוכה יותר. מספר חילופי האוויר בחממה המאווררת ע"י פתחי גג בהם מותקנות רשתות "50 מש" היה קטן פי שלוש לערך ממספר חילופי האוויר באותה חממה ללא רשתות על הפתחים. כאשר החממה מאווררת ע"י שלוב של פתחי גג וצד, ההשפעה של צפיפות הרשת על האקלים בחממה הולכת וקטנה ככל שהיחס בין שטח חלונות הצד לשטח חלונות הגג הולך וגדל. כאשר שטח חלונות הצד שווה לשטח חלונות הגג לצפיפות הרשת בחלונות הגג השפעה זניחה על המיקרואקלים. תוצאות ראיית הזרימה ולכידת כע"ט בתוך החממה מראות כי ניתן כנראה לבצע אופטימיזציה של פתחי הגג והרשתות המותקנות עליהם מאחר ואופייני הזרימה אינם זהים בכל הגמלונים. ישנם גמלונים בהם רוב הזמן, כפי הנראה, משטר זרימת האוויר דרך הפתח הוא מהחממה כלפי חוץ. לכן, בגידולים פחות רגישים לכנימת עש הטבק כמו פלפל ניתן להתקין בחלונות אלה רשת דלילה יותר כדוגמת "17 מש", התורמת לשיפור האוורור ומצליחה להוריד את הטמפרטורה והלחות לערכים נמוכים מאלה המתקבלים עם רשת "50 מש". כיסוי פתחי האוורור ברשתות הקטין את מספר טיפולי ההדברה באופן משמעותי בהשוואה לרמה שהייתה מקובלת בעבר בחממות ללא כיסוי פתחים. הממצאים הבאים ממחקר זה מעידים שחדירת כע"ט למבנה החממה הייתה בעיקר מפתחי הגג במקרים בהם הותקנה רשת דלילה בפתח. נראה שהחדירה והפיזור הראשוני של הכע"ט במבנה החממה הוא ברובו תהליך פסיבי. התוצאות שקיבלנו מעודדות וראויות לבחינה מעמיקה יותר. אנו מעוניינים להמשיך את המחקר, להעמיק את הידע, לבסס אותו ולהגיע למסקנות אותן ניתן ליישם בשטח.

## 1. רקע כללי והגדרת הבעיה

קטילת מזיקים הפוגעים בגידולים חקלאיים וגורמים לנזק כספי גדול, נעשית כיום בעיקר ע"י חומרי הדברה כימיים. לחומרי ההדברה הכימיים החסרונות הבאים:

1.1) החרקים מפתחים תנגודת במשך הזמן ויש לפתח חומרים חדשים או להגדיל את המינון.

1.2) העלות של פיתוח חומרי הדברה חדשים גבוהה.

1.3) דרישות השוק (בארץ ובעולם) לפרי "ביולוגי" שעליו שאריות מינימליות של רעלים הולכות וגדלות.

1.4) ממשלות בארצות רבות בעולם מחוקקות תקנות לצמצום השימוש בחומרי הדברה ואינן מאפשרות יבוא תוצרת חקלאית הנגועה במזיקים.

1.5) חומרי ההדברה פוגעים באיכות הסביבה.

1.6) השימוש באמצעי הדברה ביולוגיים ובדבורים להאבקה של גידולים נפגע במידה מסוימת בשל החומרים הכימיים.

על מנת להפחית את כמות חומרי ההדברה המרוססים בחממות החלו חקלאים להשתמש בשנים האחרונות ברשתות נגד חרקים המותקנות בכניסה לחממות ועל פתחי האוורור שתפקידם לחסום את מעבר החרקים לחממה באופן מכני. כתוצאה מהתקנת הרשתות נוצרות מספר בעיות (1) יורדת יעילות האוורור הטבעי בחממה (2) יש צורך בהפעלה ממושכת יותר של מאווררים כשמשתמשים באוורור מאולץ. (3) נוצרת בעיה של לחות גבוהה בשל אוורור לא מספיק (4) במידה מסוימת מתקצרת עונת הגידול בשל הקושי בפינוי החום והלחות מהחממה.

למרות שדיווחים מחקלאים מצביעים על יעילות הרשתות בצמצום חדירת מזיקים, לא נעשתה עבודה מספקת לתיעוד המיקרואקלים המתפתח בחממות המצוידות בפתחי רשת גדולים או בבתי רשת גדולים העשויים מרשת נגד חרקים. בהשוואה לעבודה הרבה שנעשתה בחממות המכוסות בזכוכית וביריעות פלסטיק מספר העבודות על האקלים בחממות עם רשתות מועט ביותר.

## מטרות המחקר

ללמוד את ההשפעה שיש לרשתות צפופות (כדוגמת "50 מש מסחרית") המותקנות בחממה על המיקרואקלים המתפתח בחממה. לעודד את השימוש ברשתות נגד מזיקים כאמצעי להפחתת השימוש בחומרי הדברה מחד וכאמצעי ליישום הדברה ביולוגית בצורה יעילה יותר מאידך.

המטרות הספציפיות של המחקר היו:

2.1) ללמוד את התנהגות החרקים בזמן המעבר דרך רשת (בתוך מנהרת רוח) ללא רוח ועם רוח. לחקור את השפעת מהירות הרוח וזווית הרשת כלפי הרוח על אחוז החרקים העוברים את הרשת.

2.2) להשוות בין האקלים המתפתח בתממה שבה הגג מכוסה יריעת פלסטיק לחממה שבה הגג מכוסה ברשת נגד חרקים "50 מש" מבחינת המיקרואקלים.

2.3) לבחון את ההשפעה של גודל פתחי הצד המרושתיים בשילוב עם פתחי גג על אוורור חממות.

2.4) להשוות בין קצבי אוורור של חממה עם רשתות לזה שבחממה ללא רשתות.

### 3. חומרים ושיטות

הניסויים נערכו בארבע אתרים. בשנה הראשונה בוצעו הניסויים בשתי חממות מסחריות במושב רנן ובמקביל נמדדו אופייני רשתות במנהרת רוח בבית דגן. בשנה השניה והשלישית נערכו ניסויים במו"פ זרום בחבל הבשור ובמקביל נערכו ניסויים במנהרות רוח בבית דגן וחוות גילת.

#### 3.1 - ניסויים במושב רנן

ניסויי אקלים:

הניסויים בוצעו בשתי חממות מסחריות סמוכות האחת לשניה בהן גידלו עגבניות בהדלייה. שטח כל חממה כשנים ורבע דונם. בחממה אחת (להלן חממה א') כיסוי הגג היה עשוי מיריעת פלסטיק שסוידה בלבן על מנת להוריד את עומס החום ובחממה האחרת (להלן חממה ב') הגג כוסה ברשת נגד חרקים "50 מש". בשתי החממות היו קירות הצד עשויים מרשת נגד חרקים "50 מש". בחממה א' היו 8 גמלונים ברוחב 7.5 מ' כל אחד ובאורך 36 מ' ובחממה ב' 7 גמלונים ברוחב 9 מ' כל אחד ובאורך 40 מ'.

בכל אחת מהחממות הוצבו ארבעה תרמוקופלים מוגנים מקרינה בגובה 1.8 מ' מהקרקע למדידת טמפרטורת האוויר באזורים שונים בחממה. יחידה מאווררת המודדת טמפרטורת לח ויבש הושמה בגובה 2.1 מ' במרכז כל אחת מהחממות על מנת למדוד את הלחות. כמו כן נמדדה מהירות הרוח במרכז כל אחת מהחממות בגובה 2.2 מ' מהקרקע. המהירות נמדדה בעזרת מדי חוט להט. הקרינה בכל אחת מהחממות נמדדה בעזרת מד קרינה סולרית שהוצב בגובה 2.5 מ' מהקרקע במרכז כל אחת מהחממות. טמפרטורת הקרקע נמדדה אף היא במרכז כל אחת מהחממות בעומק של 5-7 ס"מ מפני הקרקע במרכז שביל בין שתי ערוגות סמוכות. מהירות הרוח והקרינה מחוץ לחממות נמדדו במרחק של כ-15 מ' מהחממות על מנת לצמצם ככל האפשר הפרעה מהחממות עצמן. הטמפרטורה והלחות מחוץ לחממות נמדדו בעזרת תא מאוורר שהוצב בגובה 1 מ' במרכז בין שתי החממות. כל המדידים חוברו לאוגר נתונים שדגם אחת לארבע שניות והכניס את הנתונים לזיכרון.

#### 3.2 ניסויים בחוות הבשור

חומרים ושיטות

#### מדידות מיקרואקלים בשנת 1997:

הניסויים בוצעו בשתי חממות סמוכות (חצי - מסחריות) בחוות הבשור בעלות מבנה דומה בשטח של כדונם כל אחת. שתי החממות מצוידות בפתחי גג ובחלונות צד למטרות אוורור. בשתי החממות כוסו חלונות הצד ברשת "50 מש" ואילו חלונות הגג כוסו בחממה אחת ברשת "50 מש" (להלן חממה ג') ובשניה ברשת דלילה מאוד (22% צל, תוצרת "פולישק"). שהתנגדותה לזרימת אוויר קטנה (להלן חממה ד'). ע"י כך, יכולנו להשוות בין חממה שבה

פתחי הגג מכוסים ברשת צפופה לחממה שבה פתחי הגג מכוסים ברשת דלילה. סה"כ שטח חלונות הגג בחממה ג' כ 60 מ"ר ובחממה ד' כ 55 מ"ר. פתחי הצד נפתחו לגובה של כ 2 מטר בארבעת הקירות של כל אחת מהחממות וכתוצאה מכך היה השטח הפתוח של חלונות הצד בכל אחת מהחממות כ 240 מ"ר. בחלק מהניסויים ווילונות הצד נפתחו רק לחצי הגובה על מנת ללמוד את ההשפעה שיש לגודל פתחי הצד על המיקרואקלים בחממה. בשתי החממות גידלו פלפל בהדליה והגידול התנשא לגובה של כ- 2.8 מטר. הזנים: פיאסטה, פרקר וקובי, נשתלו ביום 7.9.96 באותה מתכונת בשתי החממות. ארבעה תרמוקפלים מוצללים מקרינת השמש הושמו באופן דומה במרכז כל אחת מהחממות בגבהים שונים מהקרקע. התרמוקפלים הונחו בגובה 0.55, 1.5, 2.5 ו 3.2 מטר מהקרקע. כמו כן הושמה יחידה מאווררת למדידת טמפרטורות לח ויבש במרכז כל אחת מהחממות בגובה 1.5 מטר מהקרקע על מנת למדוד את לחות האוויר. כל התרמוקפלים חוברו לאוגר נתונים שדגם אחת לחמש שניות ואחת לחמש דקות ביצע ממוצע על כל אחד מערוצי המדידה והממוצע הוכנס לזיכרון. נתוני האקלים בתקופת הניסוי התקבלו מתחנה מטאורולוגית המותקנת בחוות הבשור.

הניסוי בוצע במשך שבועיים וכלל את השלבים הבאים:

| <u>שעה</u> | <u>פעולה</u>                 |
|------------|------------------------------|
| 9:00       | סגירת כל החלונות בשתי החממות |
| 10:00      | פתיחת חלונות הגג בלבד        |
| 10:30      | סגירת חלונות הגג             |
| 11:00      | פתיחת חלונות הצד             |

#### מדידות מיקרואקלים בשנת 1998 :

הניסויים בוצעו שוב באותן שתי חממות סמוכות (חצי - מסחריות) בחוות הבשור. גם השנה כוסו חלונות הצד בשתי החממות ברשת "50 מש" ואילו חלונות הגג כוסו בחממה ג' ברשת "50 מש" ובחממה ד' ברשת דלילה מאוד "17 מש" שהתנגדותה לזרימת אוויר קטנה. ע"י כך, יכולנו להשוות שוב בין חממה שבה פתחי הגג מכוסים ברשת צפופה לחממה שבה פתחי הגג מכוסים ברשת דלילה כאשר הפעם הרשת הדלילה שונה מהשנה הקודמת. הניסויים בוצעו בשתי תקופות: בחודש יולי, עם צמחים בוגרים בגובה כ 2.5 מ' ובחודש ספטמבר, עם צמחים קטנים בגובה כ 0.2 מ'. תרמוקפלים מוצללים מקרינת השמש ויחידות מאווררות למדידת טמפרטורות לח ויבש הושמו באופן דומה במרכז כל אחת מהחממות וגם מתחת לחלון של הגמלון השני של כל חממה. המדידים הושמו בגבהים שונים מהקרקע כפי שמראה איור 1. כל התרמוקפלים חוברו לאוגר נתונים שדגם אחת לאדבע שניות והכניס את הנתונים לאוגר. נוסף על כך, אחת לחמש דקות בוצע ממוצע על כל אחד מערוצי המדידה והממוצע אף הוא הוכנס לזיכרון. נתוני האקלים בתקופת הניסוי התקבלו מתחנה מטאורולוגית שהותקנה בסמוך לחממות. התחנה מדדה מהירות רוח וכיוון, קרינת שמש, טמפרטורה ולחות אוויר.

הניסויים כללו סגירה של החממות לתקופה של כשעה על מנת להעלות את הטמפרטורה והלחות בחממה ולאחר מכן פתיחת חלונות הגג ומעקב אחר התקררות החממה. על מנת לבחון את ההשפעה של אוורור ע"י שלוב חלונות גג וצד, בחלק מהניסויים נפתחו חלונות הצד של החממה בו זמנית עם חלונות הגג. שלושה מצבים נבדקו: חלונות הצד נפתחו לגובה של 0.1 מ' (שטח פתחי הצד כ 7 מ"ר), חלונות הצד נפתחו לגובה של 0.5 מ' (שטח פתחי הצד כ 35 מ"ר) ובמצב השלישי החלונות נפתחו לגובה של 1 מ' (שטח פתחי הצד כ 70 מ"ר). בחודש ספטמבר, בניסוי עם הצמחים הקטנים, נמדד גם קצב האוורור בחממה ג' בטכניקה של פיזור גז נותב  $N_2O$ . החממה נסגרה וגז הוחדר לתוכה עד אשר הריכוז עלה לרמה של כ 50 ppm במצב זה נפתחו החלונות וריכוז הגז נמדד אחת לארבע שניות בשש נקודות בחממה. האוויר נשאב מנקודות המדידה בעזרת משאבת וואקום עורבב והוכנס למכשיר IRGA רגיש המסוגל למדוד ריכוז ברזולוציה של 0.5 ppm. קצב האוורור של החממה חושב מתוך קצב ירידת ריכוז הגז.

#### מדידות מיקרואקלים בשנת 1999:

הניסויים בוצעו בחוות הבשור בחממה אחת בלבד שבה הותקנו רשתות "50 מש" בחלונות הצד ובחלונות הגג. מדידי הטמפרטורה והלחות סודרו בחממה בצורה דומה לזה שבשנת 1998. בשנה זו חזרנו על ניסויים של פתיחת חלונות גג וביצענו גם ניסויים של פתיחת חלונות גג במצב בו פתחי הצד בקיר הצפוני והדרומי היו פתוחים לגובה של 0.2 מ' (שטח פתחי הצד היה כ 14 מ"ר) עוד לפני שפתחנו את חלונות הגג. כמו כן נערכו גם השנה ניסויים למדידת קצב אוורור בדומה לניסויים שנערכו בשנת 1998.

#### 3.3 ניסויים במנהרת רוח

מפלי הלחץ כפונקציה של מהירות הרוח במעלה הזרם נמדדו במנהרת רוח במכון להנדסה חקלאית על רשת "17 מש", "50 מש" ו "22% צל". כמו כן נמדדו הפרמטרים הגאומטריים של הרשת, קוטר חוט והמרחק בין חוטי שתי וערב, תחת מיקרוסקופ על מנת לחשב מתוך פרמטרים אלה את מקדם מפל הלחץ של הרשתות. לרשת "50 מש" היה קוטר חוט ממוצע בכוון שתי 0.244 מ"מ ובכוון ערב 0.268 מ"מ. היחס בין השטח הפתוח ברשת לסה"כ שטח הרשת היה  $\alpha = 0.355 \pm 0.022$ . ברשת "17 מש" היה קוטר חוט ממוצע בכוון שתי 0.356 מ"מ ובכוון ערב 0.342 מ"מ. והיחס בין השטח הפתוח ברשת לסה"כ שטח הרשת היה  $\alpha = 0.616 \pm 0.018$ . רשת "22% צל" שונה במבנה מרשתות "50 מש" ו "17 מש". היא אינה ארוגה מחוטי שתי וערב ולכן אין אפשרות לחשב עבורה את  $\alpha$  (איור 2).

#### 4. תוצאות ודיון

##### ניסויים במנהרת רוח

איורים 3 ו 4 מראים מפלי לחץ על רשת "50 מש" ו "17 מש" בהתאמה כפונקציה של מספר ריינולדס המבוסס על קוטר החוט ממנו עשויה הרשת ומהירות האוויר הממוצעת במעלה



הרשת. האיורים מציגים תוצאות ניסוי במנהרת רוח ותוצאות חישוב כפי שהתקבלו ממשוואה הנתונה ע"י Brundrett, E. 1993. כמו כן מוצגים גם מקדמי מפל הלחץ, A, על הרשתות. רואים כי עבור מספר ריינולדס מסוים, מפל הלחץ p ומקדם מפל הלחץ K ברשת "50 מש" גבוהים בהרבה מאלה המתקבלים ברשת "17 מש". כמו כן רואים מהאיור שקיימת התאמה טובה בין תוצאות הניסוי לתוצאות המתקבלות משימוש במשוואה הנתונה ע"י Brundrett, E. 1993. המשוואה מאפשרת לחשב את מפל הלחץ הצפוי על רשת מידיעת הנתונים הגיאומטריים של הרשת, ולכן ברשתות מונופילמנט הארוגות שתי וערב היא עשויה לחסוך זמן וכסף הנחוצים לביצוע ניסויים במנהרת רוח.

השוואה בין שלשת הרשתות מבחינת מפל הלחץ עליהן מוצגת באיור 5. האיור מראה כי מפלי הלחץ על רשת "17 מש" במהירויות אוויר שונות, כמעט שווים לאלה שעל רשת "22 צל". ומפלי הלחץ על רשתות אלה קטנים בהרבה מאלה שנמדדים על רשת "50 מש".

#### ניסויים במושב רנו

נתוני המדידות מראים כי טמפרטורת האוויר כמעט שווה בשתי החממות ביום. הבדלים בטמפרטורה במשך היום נצפו בין השעות 7 ל 10 בבוקר כשחממה ב' הייתה קרה ב 1-2 מ"צ לערך מחממה א'. בלילה החל משעה 19:00 ועד השעה 7:00 הייתה חממה ב' קרה ב 2-3 מ"צ מחממה א'. טמפרטורת האוויר בשתי החממות הייתה גבוהה מטמפרטורת הסביבה בין השעות 7:00 - 14:00 ב 2.5 - 3 מ"צ. הלחות היחסית בחממה ב' הייתה גבוהה מזו שבחממה א' במשך רוב שעות היום. ההבדל הגדול ביותר בלחות נצפה בין השעות 12:00 - 19:00 והגיע לכדי 45% לחות יחסית בחממה א' ו 55% בחממה ב'. מניתוח סטטיסטי עולה כי הבדל זה מובהק. בשתי החממות הייתה הלחות גבוהה מזו שנמדדה בסביבה (כ 39% בצהריים) כצפוי, בשל דיות מהצמחייה ומהקרקע.

מחישוב ממוצע קרינת השמש בשתי החממות ומחוצה להן על פני שבעה ימים מקבלים כי קרינת השמש בחממה א' הייתה נמוכה בהרבה מזו שנמדדה בחממה ב'. כתוצאה מכך הייתה רמת האור בחממה א' נמוכה בהרבה מזו שנמדדה בחממה ב' כפי שרואים מטבלה 1 בה מוצגות תוצאות המדידה שנעשתה ע"י לוקסמטר.

#### טבלה 1

| מקום מדידת האור | עוצמת האור (לוקס) |
|-----------------|-------------------|
|                 | נמדדה בשעות       |
|                 | 11:30 - 10:45     |
| מחוץ לחממות     | 115               |
| חממה א'         | 55                |
| חממה ב'         | 82                |

מאחר ויש קשר בין רמת הקרינה ב ווטמ"ר ורמת האור יש להניח שההבדלים ברמת האור בין שתי החממות ילכו ויגדלו לקראת השעות 13:00 - 14:00 שבהן ההבדל בקרינה הנכנסת לחממות הייתה הגדולה ביותר. חשוב לזכור כי רמת אור גבוהה יתר חשובה להתפתחות הצמח וליבול שהוא מניב ולכן מבחינה זאת יש עדיפות לחממה המכוסה ברשת.

ממדידת מהירות האוויר בעזרת חוט להט במרכז החממה רואים כי קיימת קורלציה בין מהירות הרוח מחוץ לחממה לזאת שבחממות. כמו כן רואים שבחממה א' מהירות האוויר גבוהה יותר מזו שבחממה ב'. בעוד שבחממה א' מהירות האוויר הגבוהה ביותר, בשעות 15:00 - 16:00, הנה כ 0.7 מ'שניה הרי שבחממה ב' מהירות הנה כ 0.35 מ'שניה. המהירות הגבוהה יותר נובעת כפי הנראה מהעובדה שהגג מכוסה ביריעת פלסטיק שאינה מאפשרת זרימת אוויר דרכה ולכן האוויר חייב לזרום דרך הצמחיה שבחממה. כאשר הגג עשוי מרשת הרוח החודרת דרך פתחי הצד יוצאת גם דרך פתחי הגג ולכן המהירות בתוך החממה קטנה יותר. במילים אחרות, ניתן לאומר כי מפל הלחץ בין מעלה הזרם למורד הזרם בחממה המכוסה ביריעה אטומה בגג, גדול יותר מזה הנוצר בחממה המכוסה ברשת. רצוי לזכור כי למהירות הרוח בחממה השפעה משמעותית על קצב האוורור ועל הדיות מהצמחים. לכן, יש לצפות להבדלים בדיות וכתוצאה מכך גם להבדלים בצריכת מים בין שתי החממות. כמו כן משפיעה מהירות הרוח על תהליכים פיזיולוגיים, מניעת כיסים של אוויר חם ולח וכד'.

מהירות האוויר במרכז חממה א' נמדדה בשלוש תצורות: (I) - פתחי הצד של החממה מכוסים ברשתות, (II) - פתחי הצד ללא רשתות, (III) - פתחי הצד ללא רשת והצמחים בחממה נעקרו. כל תצורה נבחנה במשך שבוע. בכל תקופה חישובנו ממוצע המייצג שבע יממות המתחילות מהשעה 8:00 בבוקר ומסתיימות ב 8:00 למחרת. מניתוח התוצאות רואים כי קיימת התאמה בין מהירות הרוח מחוץ לחממה למהירות האוויר בתוכה, כצפוי. בשעות הצהריים כאשר הרוח מחוץ לחממה מתגברת ומגיעה לערכים ממוצעים של 3.5 - 4.5 מ'שניה, מהירות האוויר בחממה עולה אף היא. מהירות האוויר בשעות הצהריים הייתה הנמוכה ביותר, כ 0.7 מ'שניה כאשר הפתחים היו מכוסים ברשת והיו צמחים בחממה. המהירות גדלה והגיע בשעות הצהריים לערך ממוצע של כ 1 מ'שניה כאשר הורדנו את הרשתות מהפתחים. כאשר הצמחים הוצאו מהחממה, ההתנגדות לזרימת אוויר קטנה עוד יותר והמהירות בחממה גדלה והגיעה עד כדי 1.8 מ'שניה לערך. התוצאות מדאות כי בשעות הלילה מהירות האוויר בשתי החממות קרובה מאוד לאפס. הערכים הגבוהים ביותר של מהירות אוויר בחממה בשעות הלילה, כ 0.3 מ'שניה, נצפו כאשר הרשתות הוסרו מהפתחים ולא היו צמחים בחממה, כצפוי.

### ניסויים בחוות הבשור

איור 6 מציג את השינוי בהפרש הטמפרטורה (פנים חוץ) המנורמלת, בחממה המאווררת ע"י פתחי גג בלבד, כתוצאה מפתיחת חלונות גג. ערכי הפרש הטמפרטורה נורמלו לפי ערך ההפרש בזמן אפס כשפתחנו את חלונות הגג, על מנת שהערך התחילי של הפרש הטמפרטורה מיד עם פתיחת החלונות יהיה אחיד בכל הניסויים ובכל ימי הניסוי. האיור מציג תוצאות מדידה שהתקבלו עם שלוש רשתות שונות שהותקנו בפתחי הגג. האיור מציג

גם את הערך של  $\pm$  סטיית התקן בזמנים שונים מרגע הפתיחה של החלונות. האיור מראה כי כאשר רשתות "50 מש" מותקנות על פתחי הגג הפרש הטמפרטורה המנורמלת יורד ל 0.5 לערך בתוך 20 דקות, ומתייצב על ערך זה פחות או יותר. במוצע, הפרש הטמפרטורה פנים חוץ בזמן אפס, מיד עם פתיחת חלונות הגג, היה כ 7-10 מ"צ. לכן, בסוף תהליך האוורור החממה התייצבה על הפרש טמפרטורה פני חוץ של כ 3.5 - 5 מ"צ.

עם רשתות "17 מש" ו 22% צל" הייתה הירידה בטמפרטורת האוויר עקב פתיחת חלונות הגג גדולה יותר מזו שנצפתה עם רשתות "50 מש" כפי שמראה האיור. לאחר 20 דקות היה הפרש הטמפרטורה המנורמל כ 0.25 ולכן בסוף תהליך האוורור החממה התייצבה על הפרש טמפרטורה פני חוץ של כ 1.7 - 2.5 מ"צ. הירידה המשמעותית ביותר התרחשה עם חלונות גג ללא רשתות. במצב זה הפרש הטמפרטורה בין פנים החממה לסביבה לאחר 20 דקות היה במוצע כמעט אפס. כלומר בתוך 20 דקות החממה הגיעה לטמפרטורת הסביבה.

איור 7 מראה את השינויים בהפרש הלחות הסגולית המנורמלת עבור שתי רשתות ומצב בו אין רשתות בפתחי הגג. מאחר והלחות נמדדה רק בנקודה אחת בניסויים עם רשת "22% צל" בחרנו לא להציג את התוצאות כי הם אינם מייצגים בצורה טובה מספיק את הממוצע של ערכי הלחות בחלל המבנה. כמו באיור 6 גם כאן, הירידה הקטנה ביותר בלחות נצפתה באוורור עם רשת "50 מש". עם רשת "17 מש" הייתה הירידה בלחות גדולה יותר והירידה המשמעותית ביותר נצפתה במקרה בו לא היו רשתות על פתחי הגג כצפוי. יחד עם זאת יש לשים לב כי בעוד באוורור ללא רשתות על פתחי הגג הטמפרטורה הגיעה לערכי טמפרטורת הסביבה בתוך 20 דקות, הלחות הסגולית נשארה גבוהה מהלחות בסביבה.

מדידות של מהירות אוויר במישור החלון ובכוון ניצב לו הראו כי המהירות גבוהה יותר כאשר רשת "17 מש" מותקנת בהשוואה לרשת "50 מש", כצפוי. המהירות נמדדה עם מד מהירות מסוג חוט להט שהוצב במישור החלון ומדד את רכיב המהירות הניצב לחלון. בקטעי זמן בהם החלונות היו סגורים מהירות האוויר ירדה לערכים נמוכים מאוד, כמעט אפס, למעשה בתחום מהירות זה הערכים הנמדדים נמצאים בתחום השגיאה של המכשיר. אנו מתכוונים לבצע ניתוח מעמיק יותר של תוצאות המדידה על מנת לנסות ולמצוא קורלציה בין כוון הרוח הנושבת מחוץ למבנה ועוצמתה, ובין רכיב המהירות בניצב לחלון החממה התורם לפינוי החום והלחות מהמבנה.

מספר חילופי האוויר בחממה שבה פתחי הגג והצד מכוסים ברשת "50 מש" חושב לפי קצב דעיכת ריכוז גז  $N_2O$  בחממה (Fernandez and Bailey, 1992; Nederhoff et al., 1985). שיטה זאת נבחרה על מנת לצמצם למינימום את ההפרעה לזרימת האוויר בחממה. השיטה השניה המקובלת לחישוב קצב אוורור דורשת החדרת  $N_2O$ , ערבוב האוויר באופן רציף, ומדידת ספיקת הגז הדרושה על מנת לשמור על רכוז קבוע של הגז בחלל החממה. בשיטה זאת ההפרעה לזרימה האוויר (עקב הפעלת מפוחים לערבוב האוויר) גדולה ולכן לא השתמשנו בה. איור 8 מראה את מספר חילופי האוויר של חממה ג' כפי שנמדדו בשלוש צורות אוורור. בחממה סגורה ללא פתחים מספר חילופי האוויר הוא הנמוך ביותר, כ 1 חילוף לשעה. כאשר פתחנו חלונות גג בשטח כולל של כ 65 מ"ר גדל קצב חילופי האוויר ועלה ל 5 חילופי אוויר לשעה. קצב זה גדל עוד יותר כאשר פתחנו חלונות גג יחד עם

חלונות צד בגובה 0.1 מ' והוא הגיע לערך ממוצע של כ 8.5 חילופים בשעה. כשהגדלנו את חלונות הצד ופתחנו אותם לגובה 1 מ' גדל קצב חילופי האוויר והגיע ל 20 חילופים בשעה. כאשר הורדנו את הרשתות מהגג ופתחנו חלונות גג בלבד היה קצב האוורור כ 15 חילופי אוויר בשעה. איור 9 מראה את שינוי הטמפרטורה המנורמלת בשתי החממות ג' ו ד' עבור שלוש תצורות פתיחה של חלונות החממה. גם כאן ערכי הפרש הטמפרטורה נורמלו לפי הערך בזמן אפס כאשר פתחנו את הפתחים על מנת שהערך התחילי של הפרש הטמפרטורה מיד עם פתיחת החלונות יהיה אחיד בכל הניסויים ובכל ימי הניסוי. האיור מראה כי ירידת הטמפרטורה המשמעותית ביותר נרשמה כאשר נפתחו פתחי גג עם פתחי צד 1 מ' או לחילופין כאשר קצב האוורור היה הגדול ביותר. שינוי הטמפרטורה הקטן ביותר התרחש כאשר פתחנו פתחי גג בלבד. פתיחה של פתחי צד לגובה של כ 0.1 מ' שיפרה את קצב האוורור והצליחה להוריד את הטמפרטורה לערכים נמוכים מאלה המתקבלים עם פתיחת חלונות גג בלבד. מהאיור אפשר להסיק בנוסף כי אפשר להוריד את הטמפרטורה בחממה לערכים נמוכים יותר כאשר בפתחי הגג מותקנת רשת "17 מש" במקום "50 מש". ראוי לשים לב כי ההשפעה של צפיפות הרשת בגג הופכת לזניחה כאשר פתחי הצד הנם בגובה 1 מ' ושטח פתחי הצד כמעט שווה לשטח פתחי הגג.

שינויי הלחות הסגולית בחממות ג' ו ד' מיד עם פתיחת החלונות מופיעים באיור 10. האיור מציג את השינויים עבור שלשת צורות האוורור  $t_1$ ,  $t_2$  ו  $t_3$  בדומה לצורת ההצגה באיור 9. האיור מראה כי בדומה לשינויים בטמפרטורה גם בלחות הסגולית הירידה המשמעותית ביותר התרחשה עם שילוב של פתחי גג ופתחי צד הפתוחים לגובה 1 מ'. הירידה הקטנה ביותר בלחות הסגולית התקבלה במקרה של אוורור ע"י פתחי גג בלבד. שילוב של פתחי גג עם פתחי צד בגובה 0.1 מ' נותן תוצאה מעט טובה יותר מבחינת פינוי הלחות מזה המתקבל עם פתחי גג בלבד. כמו כן מראה האיור כי עם רשת "17 מש" בפתחי הגג פינוי הלחות טוב יותר מאשר עם רשת "50 מש" בדומה לתוצאה שקבלנו עם פינוי חום וירידת טמפרטורה.

### מסקנות

צפיפות הרשת המותקנת על הפתחים משפיעה חזק על הטמפרטורה, הלחות, קצב האוורור ומהירות הזרימה בנוף הצמחי. ברשתות ארוגות שתי וערב מחוט מונופילמנט, ניתן לחשב באופן תאורטי את מפל הלחץ הצפוי על הרשת מידיעת הפרמטרים הגאומטריים של הרשת. מודל שפותח במסגרת העבודה מאפשר לחשב את קצב האוורור של החממה והטמפרטורה הצפויה בה כשהיא מאווררת ע"י פתחי גג מרושתים. רשתות בעלות מרקם שונה, שמפלי הלחץ עליהן כפונקציה של מהירות האוויר שווים, מביאות לאותה רמת טמפרטורה בחממה אף שכשרן למנוע כניסת מיקים עשויה להיות שונה בגלל המרקם השונה. לצפיפות הרשת בחלונות הגג הייתה השפעה חזקה על קצב האוורור והמיקרואקלים בחממה כל עוד שטח פתחי הצד היה קטן יחסית לשטח פתחי הגג. כאשר שטח פתחי הצד שווה לזה של פתחי הגג לצפיפות הרשת בגג השפעה זניחה על האקלים אך השפעה משמעותית על חדירת מיקים ונגיעות הצמחים במחלות. הדבר נכון במיוחד לצמחים הרגישים לצהבון האמיר כדוגמת עגבניות. אוורור ע"י פתחי גג בלבד (סימולציה של חממות גדולות מאוד בהן השפעת הקירות זניחה) היה פחות טוב מאוורור ע"י שילוב של חלונות צד וגג (חממות קטנות).

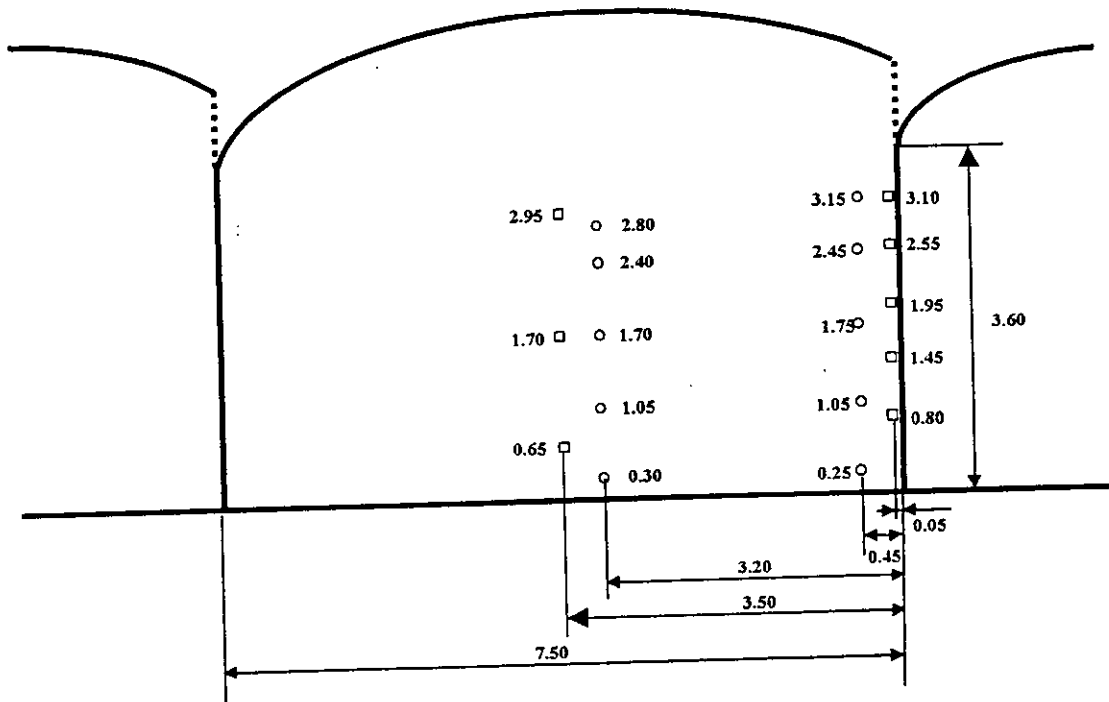
כיסוי פתחי האוורור ברשתות הקטין את מספר טיפולי ההדברה באופן משמעותי בהשוואה לרמה שהייתה מקובלת בעבר בחממות ללא כיסוי פתחים. הממצאים הבאים ממחקר זה מעידים שחדירת כע"ט למבנה החממה הייתה בעיקר מפתחי הגג: מיעוט הלכידות כאשר חלונות הגג היו סגורים או כשהם כוסו ברשת צפופה, רמת הלכידות הגבוהה יחסית במלכודות הגבוהות (קרוב יותר לחלון) לעומת הרמה במלכודות הנמוכות, ההתאמה הגבוהה בין רמת הלכידות תחת חלונות הגג ללכידות מחוץ לחממה. כצפוי, שיעור החדירה של כע"ט מחלונות הגג היה ביחס הפוך לצפיפות הרשת המכסה אותם. כיסוי החלונות ברשתות צפופות (50 מ"מ) הפחית פי 10 לערך את חדירת הכע"ט ואת שיעור בנגיעות בצהבון האמיר בהשוואה לרשתות דלילות (17 מ"מ). רמת הלכידות והנגיעות בצהבון גבוהים בצורה מובהקת תחת החלון המזרחי בהשוואה לחלון המערבי בחממה הממוקמת בבשור שבה הרוח נושבת רוב הזמן מכיוון מערב. נראה שהחדירה ופיזור ראשוני של הכע"ט במבנה החממה הוא ברובו תהליך פסיבי. ממצאים ראשוניים בחממות אלה מראים שקיימת שאיבת אוויר בחלונות המזרחיים והמרכזיים ופליטת אוויר בחלון המערבי בשעות הפעילות של הכע"ט. סביר להניח שפיזור הכע"ט בחממה מושפע בצורה ניכרת ממשטר זרימת האוויר בחלונות הגג.

בתקופת הסתיו (ספטמבר-אוקטובר) קיים לחץ כבד שלך הכע"ט וגם צורך חיוני באוורור בתי הצמיחה. עליה בצפיפות הרשת המכסה את פתחי האוורור מקטינה את שיעור החדירה של הכע"ט אך פוגעת באוורור. יש להתאים את צפיפות הרשת למידת הסיכון של הגידול במבנה ממזיקים ותנאי עקה אקלימיים. בגידולים רגישים לצהבון האמיר (עגבניות) יש צורך לכסות את פתחי הגג ברשת צפופה למנוע נזקים מסחריים. בגידולים שאינם רגישים לצהבון האמיר (פלפל) ניתן להשתמש ברשתות דלילות לכיסוי פתחי הגג ולשפר את האוורור.

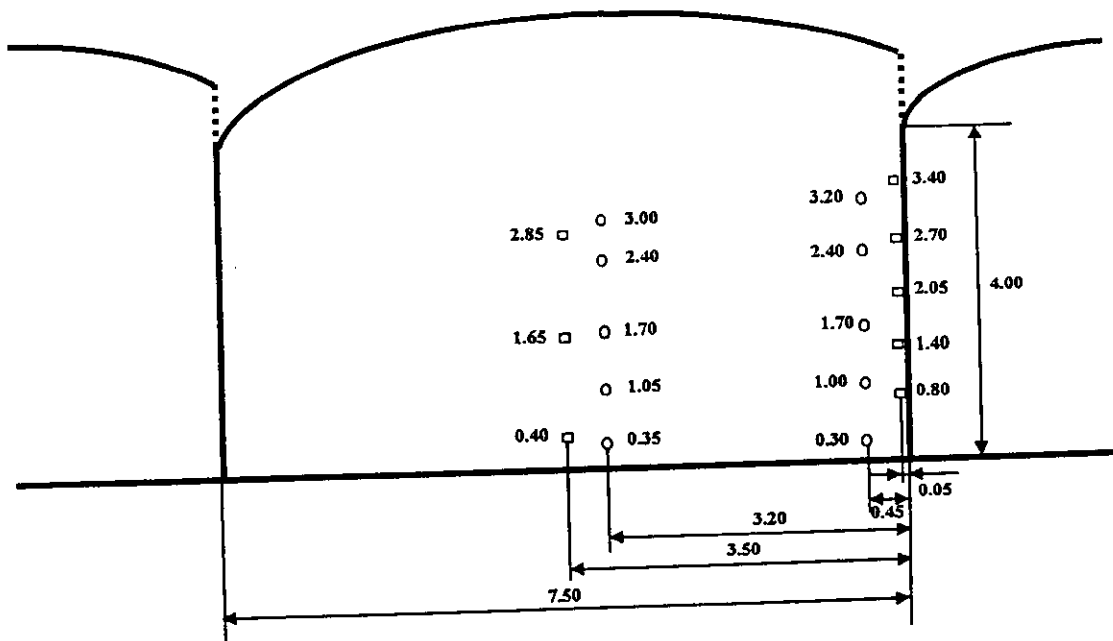
#### מקורות

- 1) Brundrett, E. 1993. Prediction of pressure drop for incompressible flow through screens. Transactions of the ASME, Journal of Fluids Engineering, 115, P 232-242.
- 2) Fernandez, J.E. and Bailey, B.J. 1992. Measurement and prediction of greenhouse ventilation rates. Agricultural and Forest Meteorology, 58 pp 229-245.
- 3) Nederhoff, E.M., van de Vonne, J. and Udink ten Cate, A.J. 1985. A practical tracer gas method to determine ventilation in greenhouses. J. Agric. Eng. Res. 31, pp 309-319.

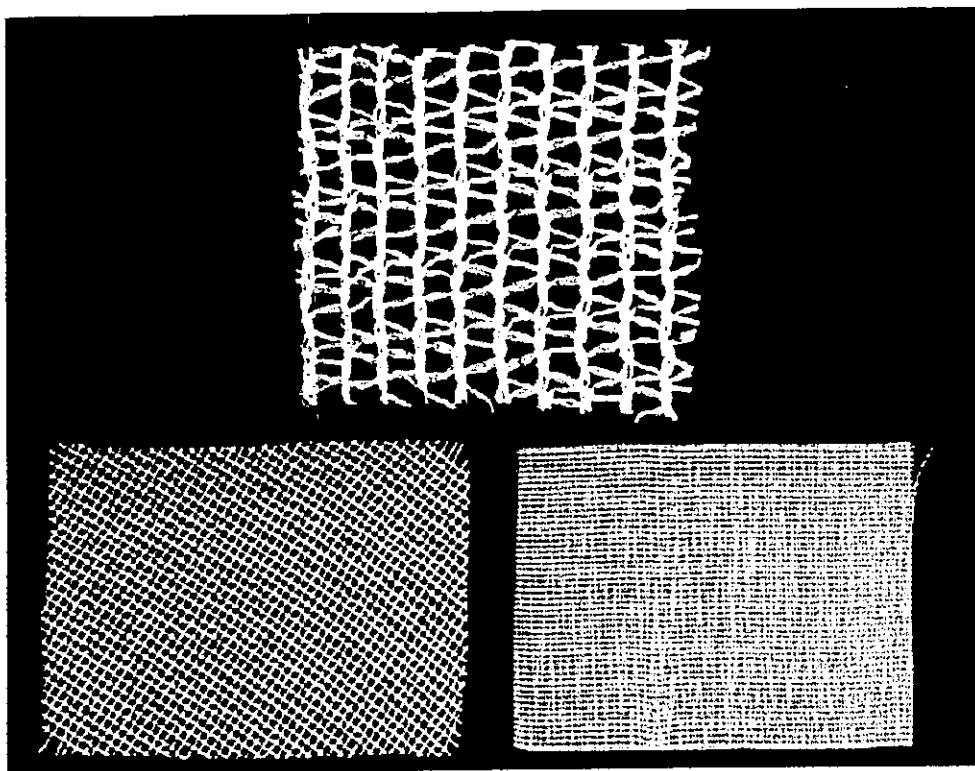
### חממה פתחי גג 50" מש



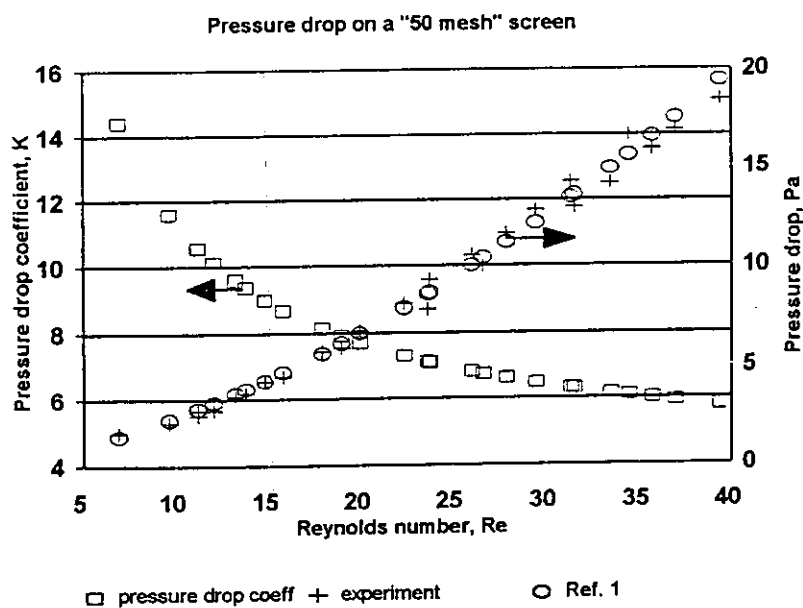
### חממה פתחי גג 17" מש



איור 1. תאור סכימתי של מיקום המדידים בחממה. □ - מדידת טמפרטורה לח ויבש בתא מאוורר, O - מדידת טמפרטורת יבש בלבד.

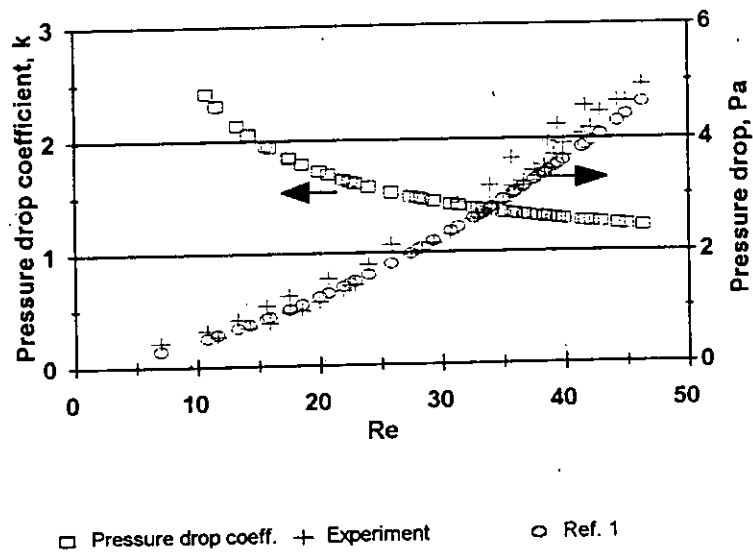


איור 2: רשתות עליהן בוצעו הניסויים. עליונה - 22% צל, תחתונה ימנית - "50 מ"ש", תחתונה שמאלית - "17 מ"ש".



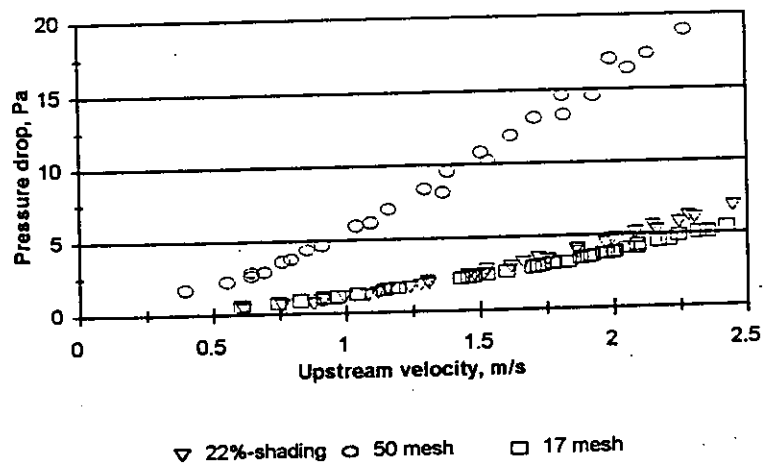
איור 3: מפל לחץ על רשת "50 מ"ש" כפונקציה של מספר ריינולדס (ריינולדס מבוסס על קוטר החוט של הרשת ומהירות הזרימה במעלה הרשת).

Pressure drop on a "17 mesh" screen



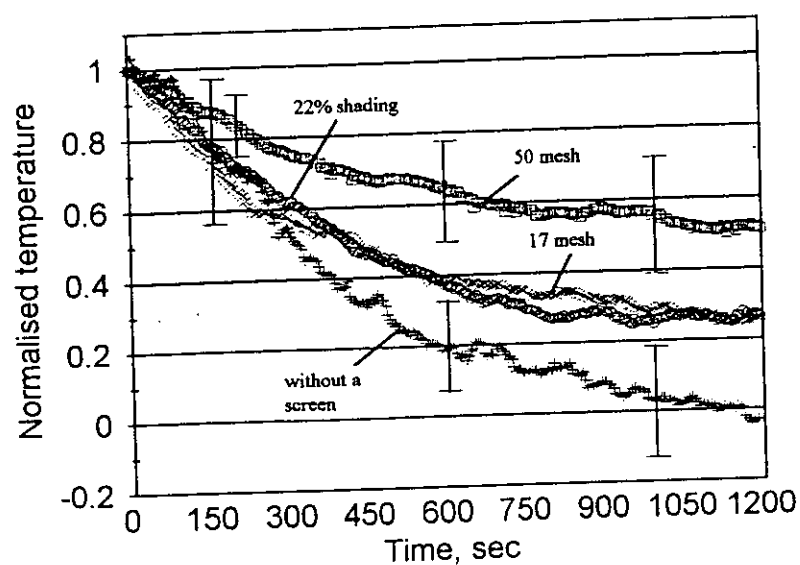
איור 4: מפל לחץ על רשת "17 מש" כפונקציה של מספר ריינולדס (ריינולדס מבוטס על קוטר החוט של הרשת ומהירות הזרימה במעלה הרשת).

Comparison Between "50 mesh" "17 mesh" and "22%-shading" Screens

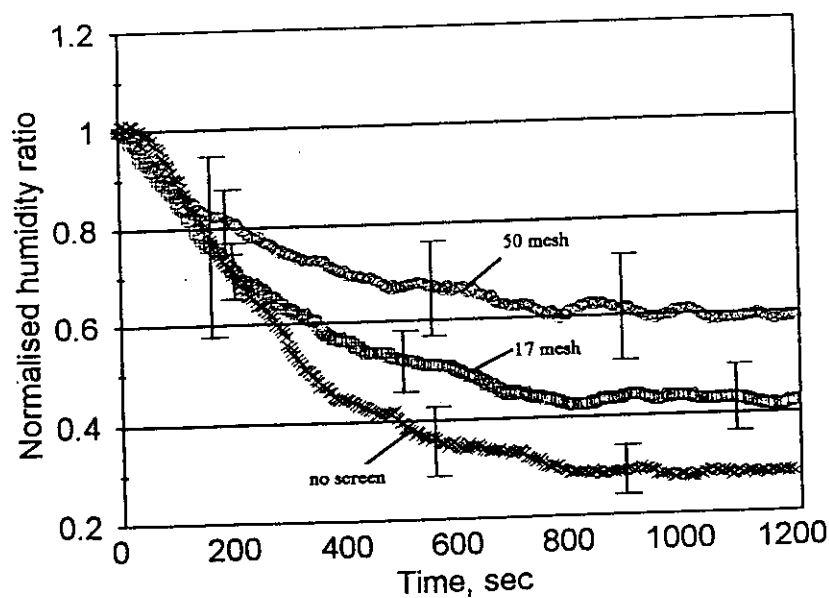


איור 5: השוואה בין הרשתות השונות שנבחנו בניסויים מבחינת מפל הלחץ עליהן.

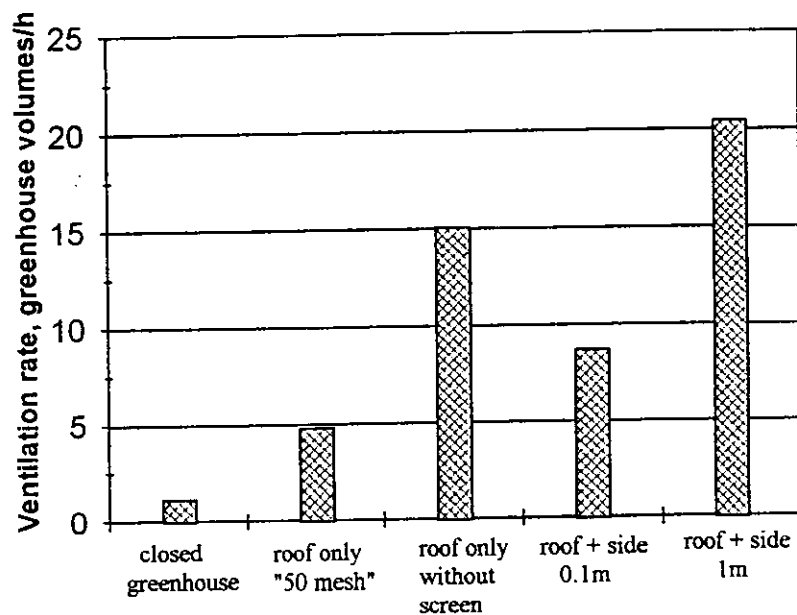




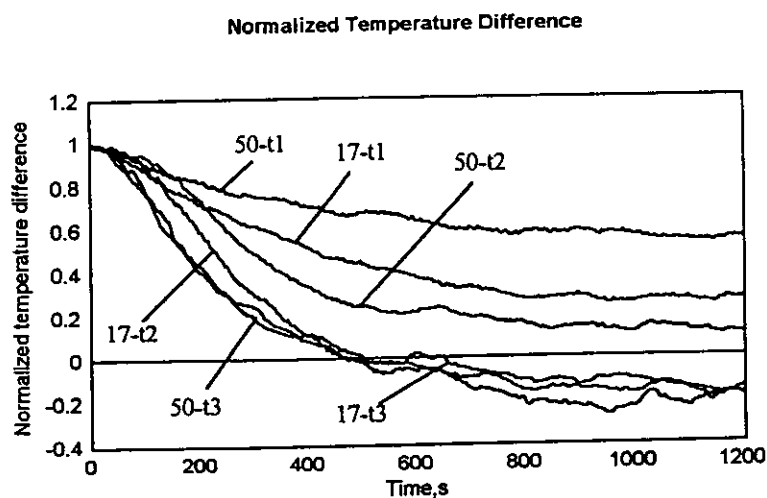
איור 6: דעיכת הפרש הטמפרטורה פנים-חוץ, בחממה בשטח דונם המאווררת ע"י פתחי גג בלבד עם רשתות שונות על פתחי הגג.



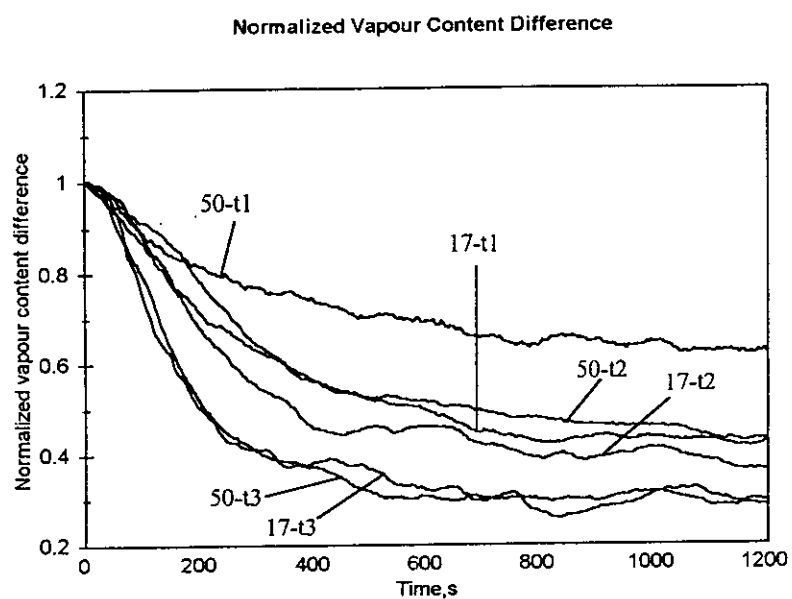
איור 7: דעיכת הפרש הלחות הסגולית פנים-חוץ, בחממה בשטח דונם המאווררת ע"י פתחי גג בלבד עם רשתות שונות על פתחי הגג.



איור 8: קצב האוורור של חממה בשטח דונם בתצורות פתיחה שונות של פתחי אוורור. כאשר נפתחו פתחי צד + פתחי גג הייתה מותקנת עליהם רשת "50 מש".



איור 9: קצב דעיכת הפרש הטמפרטורה פנים-חוץ כתוצאה מפתיחת חלונות. (t1) - חלונות גג בלבד, (t2) - חלונות גג+צד 0.1 מ', (t3) - חלונות גג + צד 1 מ'.



איור 10: קצב דעיכת הפרש הלחות הסגולית פנים-חוץ כתוצאה מפתיחת חלונות. (t1) - חלונות גג בלבד, (t2) - חלונות גג+צד 0.1 מ', (t3) - חלונות גג+צד 1 מ'.

## תת נושא: השפעת הרשתות בחלונות גג וכיסויים על חדירת מזיקים לחממות.

### מאת:

ד"ר מנחם י. ברלינגר, שרה לביוש-מרדכי ודבורה פריגיה, המעבדה לאנטומולוגיה, ת.נ. גילת.

דוד בן-יקיר ומיכאל חן, אנטומולוגיה, הגה"צ, מנהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני.

ד"ר מאיר טייטל, המכון להנדסה חקלאית, מרכז וולקני.

רקע:

במבני חממות בהם מגדלים ירקות נעשה שימוש רב ברשתות צפופות לכיסוי פתחי האוורור כמחסום פיזיקלי נגד חרקים מזיקים. השימוש ברשתות מאפשר להפחית את מספר טיפולי ההדברה לאורך עונת הגידול. הפחתה זאת מקטינה את עליות היצור, מאפשרת שימוש בדבורים להאבקה, ותורמת לשיפור בבריאות הציבור והסביבה. מצד שני, כיסוי הפתחים ברשתות צפופות גורם לירידה באוורור החממה, דבר שעלול ליצור תנאי עקה לגידול, במיוחד בעונות הסתיו והאביב. בעיית האוורור מחריפה לאחרונה מפני שחקלאים רבים נוטים לבנות חממות גדולות (מעל דונם) בשל החסכון הכספי ונוחות התפעול שלהן. בחממות גדולות חלונות הצד אינם מספקים אוורור נאות ולכן מוסיפים פתחי גג. במחקר זה למדנו את משמעותם של פתחי הגג ואת השפעת סוג הרשת המכסה אותם לגבי חדירת חרקים מזיקים למבנה החממה. המחקר התמקד בכנימת עש הטבק (כע"ט) ובגידולים עגבנייה ופלפל. המחקר בוצע בעונת הסתיו בה ישנן אוכלוסיות כע"ט גבוהות והצמחים צעירים ורגישים לנזקי מציצה ישירים ולהדבקה במחלת צהבון האמיר.

### שיטות וחומרים:

המחקר בוצע בחוות הבשור בשתי חממות סמוכות (מזרחית "האחים רזקאללה" באקה אל-גרביה, ומערבית "עז-רום" רחובות) בעלות מבנה דומה (4 גמלונים = 3 חלונות גג פונים לכוון מזרח, שטח כולל של מיפתח 60 מ"ר) בעלות גובה של 4-5 מ' ושטח של כדונם כל אחת. בשתי החממות כוסו חלונות הצד (שטח כולל של מיפתח 240 מ"ר) ברשת צפופה (50 מאש). המחקר בוצע במשך שלוש עונות גידול מ-1997 עד 1999. צמחי פלפל נשתלו בסוף אוגוסט בחממות אלה. בשנת 1999 נשתלו גם 4 שורות של עגבניות תחת כל חלון גג למעקב אחרי מחלת הצהבון. ההנחיות לגבי ביצוע טיפולי הדברה בחממות נתנו ע"י מדריך שה"מ יואל מסיקה.

ניתור המזיקים נעשה ע"י מלכודות זבק צהובות שהוצבו אופקית והוחלפו מידי שבוע. כל מלכודת הורכבה מזוג לוחות פוליגל צהוב (10X10 ס"מ) עליהם הונחו המכסה והבסיס של צלחת פטרי חד-פעמית בקוטר 9 ס"מ (מיניפלסט, עין שמר) שחלקן הפנימי צופה בשכבה דקה של זבק "רימיפוט" (יבנין יפה בע"מ, פתח תקוה) מדולל בשמן פרפין. ניתור אוכלוסיית המזיקים מחוץ לחממות נעשה במרחק של כ-10 מ' מהקיר הדרומי של שתי החממות (10 מלכודות בגובה 0.5 מ' במרחק של כ-5 מ' בינו). ניתור אוכלוסיית המזיקים בכל חממה נעשה מתחת החלון המערבי (W) והחלון המזרחי (E) בשני גבהים 2.5 מ' ו-0.5 מ'. בכל עונה הושוותה רמת המזיקים בין חממה שבה פתחי גג כוסו ברשת דלילה (רשת צל 22% ב-1997 ו-17 מאש ב-1998-9) לחממה שבה פתחי גג כוסו ברשת צפופה (50 מאש).

בתוך כל חממה הושוותה רמת המזיקים מתחת החלון המערבי והחלון המזרחי. בכל עונה נסגרו פתחי הגג (כוסו בפלסטיק, ל-3 שבועות באמצע הניסוי ב-1997, ובשבוע הראשון ב-1998-9) כדי לקבוע את ה"רקע" של רמת המזיקים (אלה החוזרים מפתחים אחרים כגון חלונות צד ודלתות). בשנת 1999 נערכה השוואה בין רמת הנגיעות בעגבניות בצהבון האמיר בין שתי החממות ובתוך כל חממה הושוותה רמת הנגיעות מתחת החלונות המערבי והמזרחי.

במהלך כל המחקר ביצע יואל מסיקה (שה"מ, נגב) את פיקוח המזיקים ונתן את ההנחיות לגבי טיפולי הדברה. בשנים 1997 ו-1998 לא בוצעו טיפולי הדברה נגד הכע"ט. בשנת 1999 טופלו צמחי העגבניה במהלך הניסוי אחת לשבוע במוספילן, סמאש ואויסקט, לסירוגין, כדי למנוע העברת מחלת הצהבון ע"י הכע"ט.

#### תוצאות:

רמת הלכידות של כנימת עש הטבק (כע"ט) היתה הגבוהה ביותר מבין המזיקים שנלכדו מחוץ לחממות ובתוכן. רמת הלכידות של תריפט הפרחים המערבי ומנהרן החממות בתוך המבנה היתה מתחת לחרק אחד למלכודת לשבוע לכן לא התייחסנו למזיקים אלה בניתוח התוצאות. בכל שלושת השנים רמת לכידות מחוץ לחממות נעה בין 500 ל 1000 כע"ט למלכודת לשבוע בתחילת ספטמבר וירדה בהדרגה עד לכ-100 כע"ט באוקטובר. כשפתחי הגג היו סגורים היתה רמת הלכידות בחממות נמוכה מ-1 כע"ט למלכודת בשבוע בכל השנים. בשנים 1997 ו-1998 נמצאה התאמה ליניארית גבוהה בין רמת הלכידות בחוץ לזאת שבמלכודות הגבוהות (איורים 1 ו-2, בהתאמה). בשנת 1999 התאמה זאת היתה ברמה נמוכה יותר ( $R^2=0.51$ , מתבסס על 4 תצפיות שבועיות).

בכל השנים היתה רמת הלכידות של כע"ט בחממה שפתחי הגג כוסו ברשת זלילה גבוהה באופן משמעותי מהרמה בחממה שפתחי הגג כוסו ברשת צפופה (איורים 3, 4 ו-5). הבדל זה הביא לכך שבשנת 1999 רמת נגיעות העגבניות בצהבון האמיר הייתה גבוהה באופן משמעותי בחממה שפתחי הגג כוסו ברשת זלילה (כ-10% מהצמחים) בהשוואה לרמת הנגיעות בחממה פתחי הגג כוסו ברשת צפופה (כ-1% מהצמחים) (איור 6).

בכל השנים הייתה רמת הלכידות בגובה 2.5 מ' גבוהה בצורה משמעותית מהרמה בגובה 0.5 מ' (איורים 3, 4 ו-5). לקראת סוף תקופת הניסוי, בד"כ, הצטמצם הבדל זה עקב התבססות הכע"ט בתוך החממה.

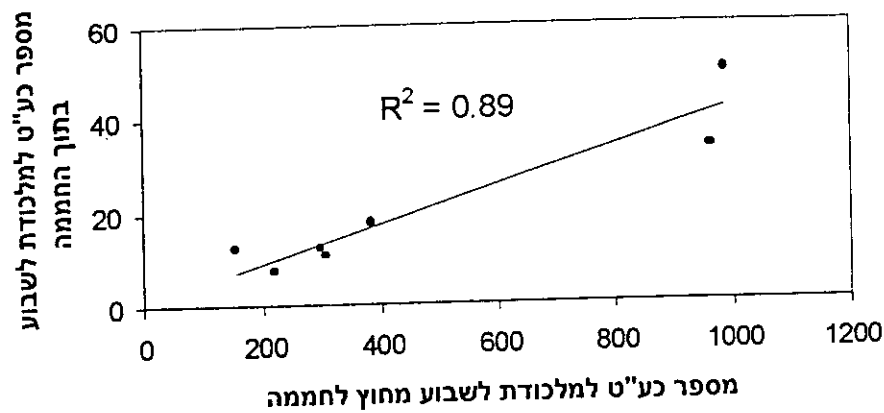
בשנת 1997 היתה לכידה גבוהה במיוחד תחת החלון המערבי בתחילת הניסוי (איור 3). בשנים 1998 ו-1999 היתה רמת לכידות הכע"ט גבוהה באופן מובהק תחת החלון המזרחי בהשוואה לרמה תחת החלון המערבי, לאורך כל תקופת הניסוי, בשתי סוגי החממות (איורים 4 ו-5). הבדל זה בא לידי ביטוי גם ברמת הנגיעות של צמחי העגבניות בצהבון האמיר שהייתה גבוהה תחת החלון המזרחי בהשוואה לרמה תחת החלון המערבי (איור 6).

## מסקנות:

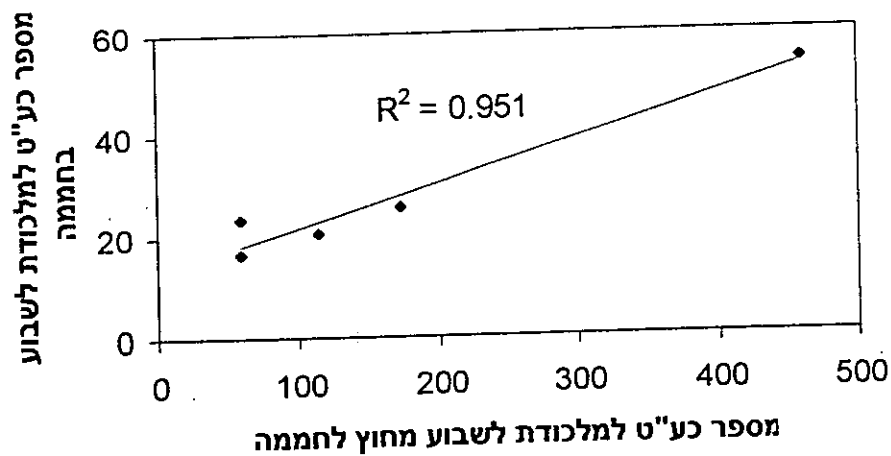
כיסוי פתחי האוורור ברשתות הקטין את מספר טיפולי ההזברה באופן משמעותי בהשוואה לרמה שהייתה מקובלת בעבר בחממות ללא כיסוי פתחים. הממצאים הבאים ממחקר זה מעידים שחדירת כע"ט למבנה החממה הייתה בעיקר מפתחי הגג: מיעוט הלכידות כאשר חלונות הגג היו סגורים או כשהם כוסו ברשת צפופה, רמת הלכידות הגבוהה יחסית במלכודות הגבוהות (קרוב יותר לחלון) לעומת הרמה במלכודות הנמוכות, ההתאמה הגבוהה בין רמת הלכידות תחת חלונות הגג ללכידות מחוץ לחממה. כצפוי, שיעור החדירה של כע"ט מחלונות הגג היה ביחס הפוך לצפיפות הרשת המכסה אותם. כיסוי החלונות ברשתות צפופות (50 מאש) הפחית פי 10 לערך את חדירת הכע"ט ואת שיעור בנגיעות בצהבון האמיר בהשוואה לרשתות דלילות (17 מאש). רמת הלכידות והנגיעות בצהבון גבוהים בצורה מובהקת תחת החלון המזרחי בהשוואה לחלון המערבי. נראה שהחדירה ופיזור ראשוני של הכע"ט במבנה החממה הוא ברובו תהליך פסיבי. ממצאים ראשוניים בחממות אלה מראים שקיימת שאיבת אוויר בחלונות המזרחיים והמרכזיים ופליטת אוויר בחלון המערבי בשעות הפעילות של הכע"ט. סביר להניח שפיזור הכע"ט בחממה מושפע בצורה ניכרת ממשטר זרימת האוויר בחלונות הגג.

בתקופת הסתיו (ספטמבר-אוקטובר) קיים לחץ כבד שלך הכע"ט וגם צורך חיוני באוורור בתי הצמיחה. עליה בצפיפות הרשת המכסה את פתחי האוורור מקטינה את שיעור החדירה של הכע"ט אך פוגעת באוורור. יש להתאים את צפיפות הרשת למידת הסיכון של הגידול במבנה ממזיקים ותנאי עקה אקלימיים. בגידולים רגישים לצהבון האמיר (עגבניות) יש צורך לכסות את פתחי הגג ברשת צפופה למנוע נזקים מסחריים. בגידולים שאינם רגישים לצהבון האמיר (פלפל) ניתן להשתמש ברשתות דלילות לכיסוי פתחי הגג ולשפר את האוורור.

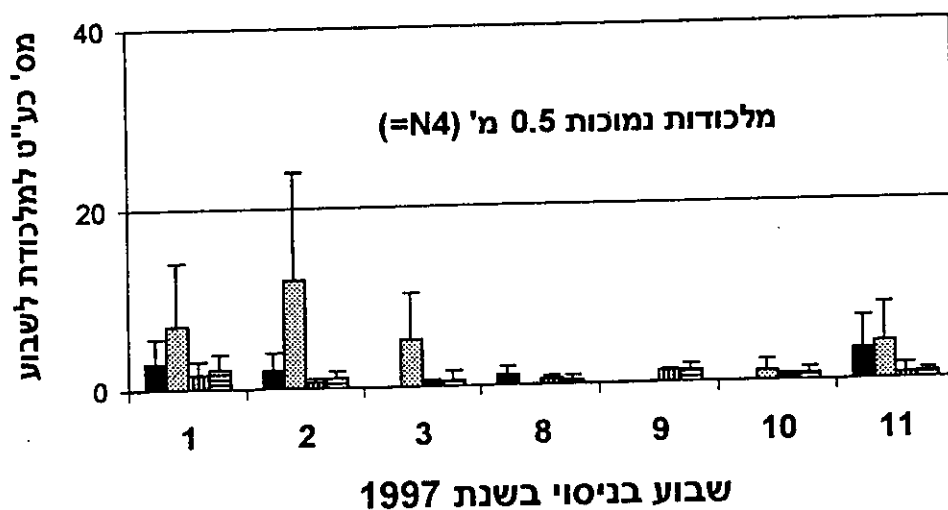
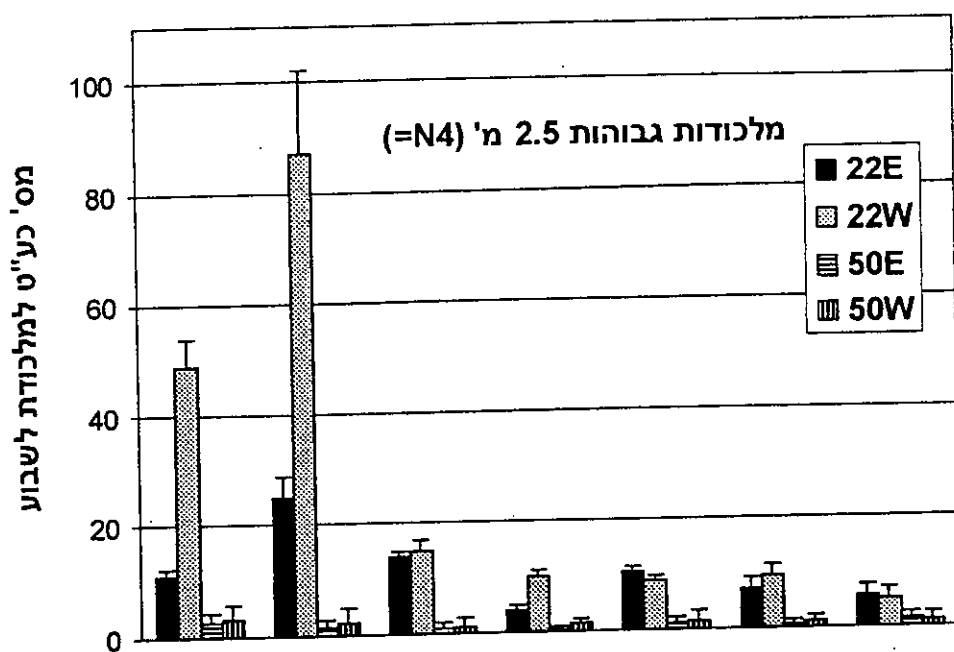
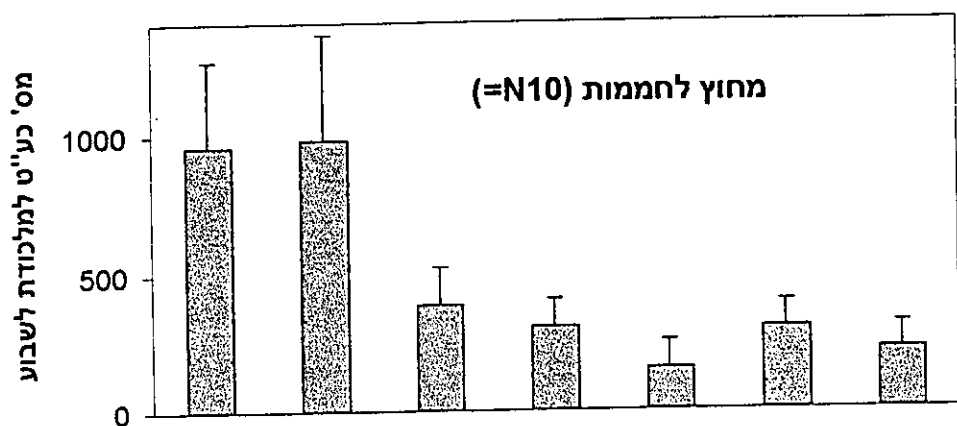
איור 1 : התאמה בין רמת הלכידות של כע"ט מחוץ לחממה (N=10) ובתוך החממה (מלכודות גבוהות, N=4), חוות הבשור, סתיו 1997.



איור 2 : התאמה בין רמת הלכידות של כע"ט מחוץ לחממה (N=10) ובתוך החממה (מלכודות גבוהות, N=7), חוות הבשור, סתיו 1998.

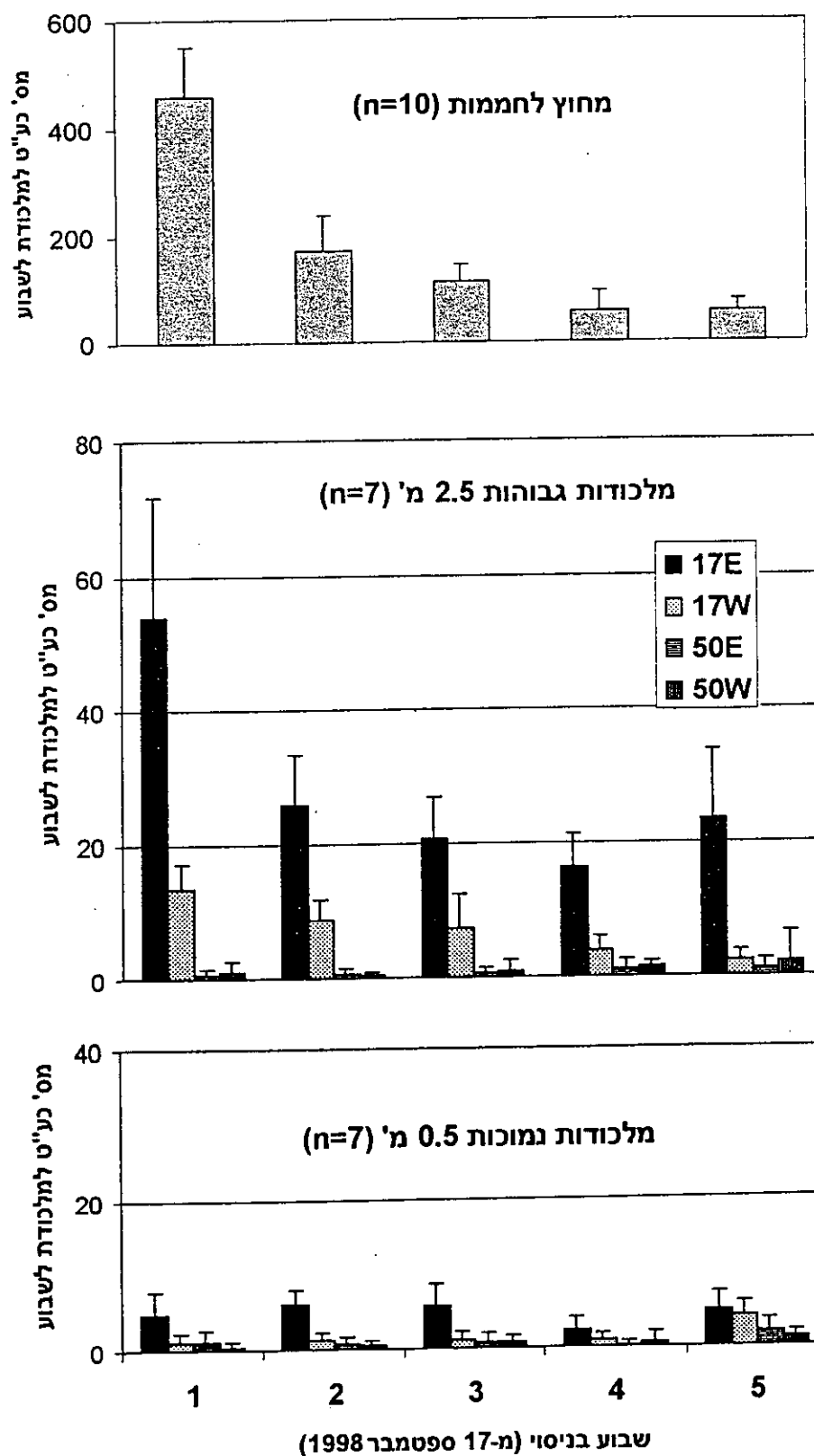


איור 3: השוואה בין רמת הלכידות של כע"ט מחוץ לחממה, במלכודות גבוהות, ובמלכודות נמוכות בתוך חממה (E=מזרח, W=מערב) שפתחי הגג שלה כוסו ברשת צל 22% או 50 מאש, חוות הבשור, סתיו 1997.

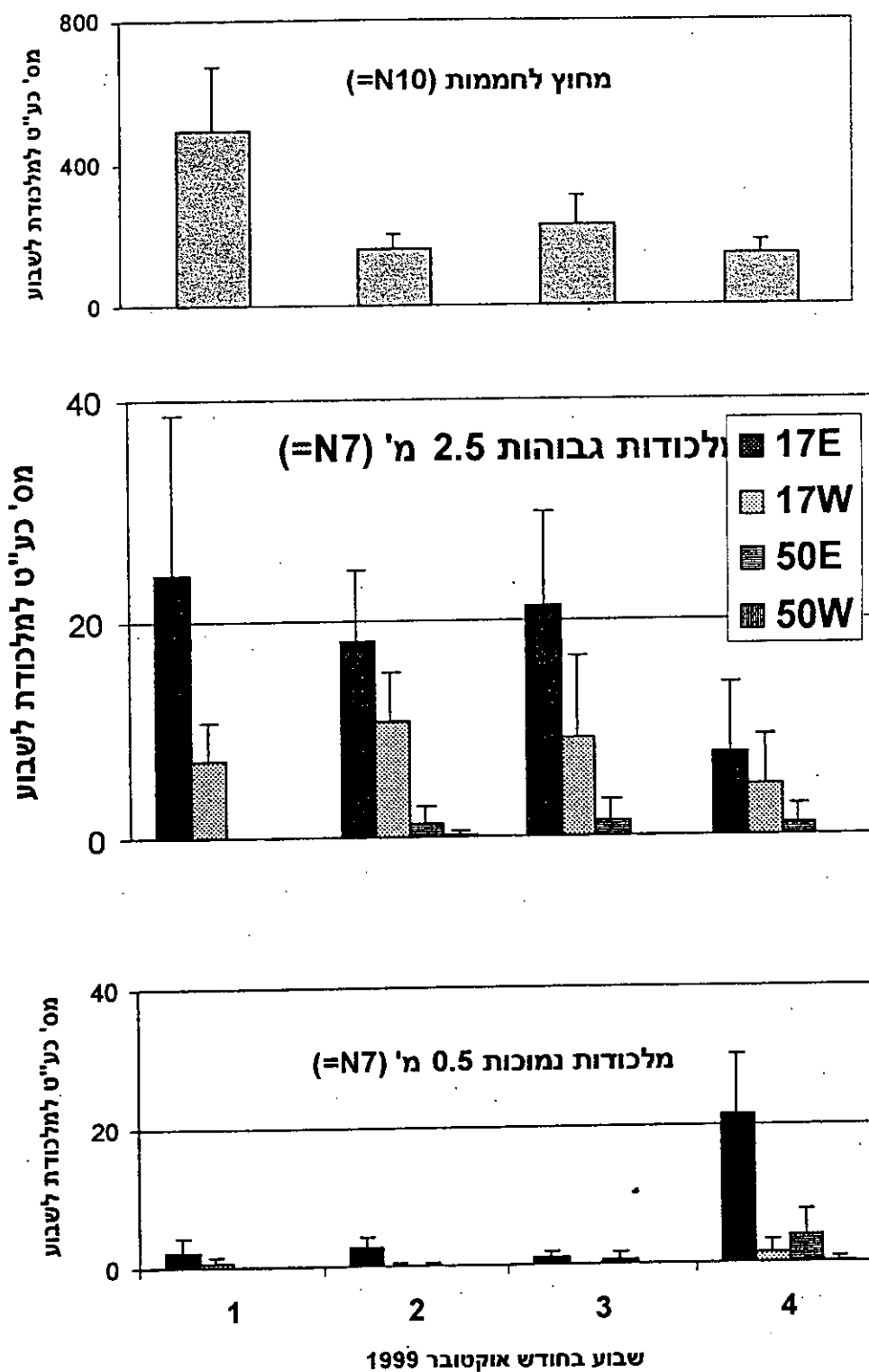




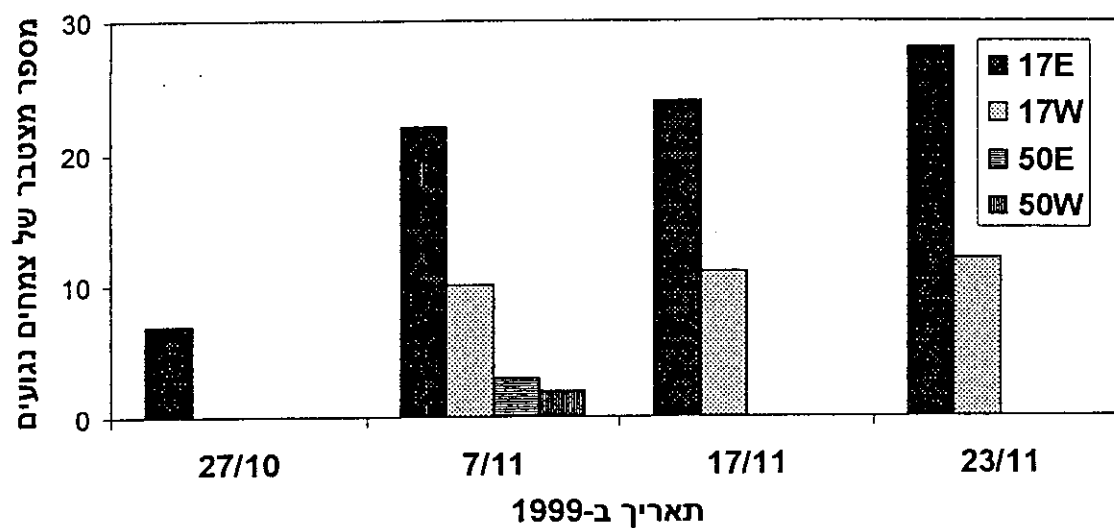
**איור 4 :** השוואה בין רמת הלכידות של כע"ט מחוץ לחממה, במלכודות גבוהות, ובמלכודות נמוכות בתוך חממות (E=מזרח, W=מערב) שפתחי הגג שלהן כוסו ברשתות 17 מאש או 50 מאש, חוות הבשור, סתיו 1998.



**איור 5 :** השוואה בין רמת הלכידות של כע"ט מחוץ לחממה, במלכודות גבוהות, ובמלכודות נמוכות בתוך חממות (E=מזרח, W=מערב) שפתחי הגג שלהן כוסו ברשתות 17 מאש או 50 מאש, חוות הבשור, סתיו 1999.



איור 6 : מספר מצטבר של מיקרי מחלת צהבון האמיר בצמחי עגבנייה (N=200)  
 שנצפו בחממות על פי פיזורם חממות (E=מזרח, W=מערב) שפתחי הגג שלהן כוסו  
 ברשתות 17 מאש או 50 מאש, חוות הבשור, סתיו 1999.



\*\*\* תודתנו נתונה למדען הראשי של משרד החקלאות ולהנהלת ענף ירקות על שתמכו בנו  
 כספית בפרויקט זה. כמו כן ברצוננו להודות לצוות בחוות הבשור בהנהלתו הקודמת של  
 דר' מנחם דינר וההנהלה הנוכחית של אלי מתן שהעמיד לרשותנו את החממות ועזר  
 בניסויים, לתקלאי מרדכי פרג' ממושב רנן על עזרתו הרבה.

1. מטרת המחקר לתקופת הדו"ח תוך התייחסות לתוכנית העבודה. ללמוד את ההשפעה שיש לרשתות צפופות (כדוגמת "50 מש") המותקנות בקירות החממה ובפתחי הגג, על המיקרואקלים ועל הנגיעות במזיקים בחממה. כתוצאה מכך, לאפשר תכנון משופר של פתחים מרושתים ותפעול יעיל יותר של החממות. המטרה לעודד את השימוש ברשתות נגד מזיקים כאמצעי להפחתת ריסוס תומרי הדברה מחד וכאמצעי המאפשר שימוש בחרקים מועילים: בדבורים- להאבקה, ובאויבים טבעיים להדברה ביולוגית באופן יעיל יותר.

2. עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו בתקופה אליה מתייחס הדו"ח. נערכו ניסויים בחממות מסחריות סמוכות, האחת בעלת כיסוי יריעת פלסטיק בגג המסוידת בלבן, והשנייה עם כיסוי רשת "50 מש". לא נמצאו הבדלים משמעותיים בטמפרטורות האוויר בין שתי החממות. לעומת זאת הייתה הלחות היחסית של האוויר בחממה עם כיסוי הרשת מעט גבוהה (כ 20% יותר) מזו שבחממה השנייה. מהירות האוויר במרכז החממה בגובה צמרות הצמחים הייתה גבוהה פי שתיים, בשעות הצהריים בהן הרוות החיצונית מתגברת, בחממה המכוסה יריעת פלסטיק אך לעומת זאת הקרינה ורמת האור היו נמוכים ב 30% מאלו שבחממה עם כיסוי רשת. נבנתה מערכת המאפשרת מדידת קצב אוורור של חממות המבוססת על מדידת קצב הדעיכה של גז סימון  $N_2O$ . נמדד קצב האוורור של חממה בשטח דונם המאווררת ע"י פתחי גג בלבד ופתחי גג בשילוב פתחי צד. נמדדו טמפרטורות ולחות בגבהים שונים בחממות המאווררות ע"י פתחי גג בהם הותקנו רשתות. נבחנו שלוש מקרים: חלונות הגג היו מכוסים ברשתות "50 מש", "17 מש" ו "22% צל". נערכו צילומי עשן על מנת לאפיין את זרימת האוויר על יד חלונות הגג. הניסויים מאמתים את ההנחה שבחממה שבה הרשת על פתחי האוורור צפופה יותר, הטמפרטורה והלחות גבוהים יותר וחדירת המזיקים והנגיעות בצמחים נמוכה יותר. מספר חילופי האוויר בחממה עם רשתות "50 מש" המאווררת ע"י פתחי גג קטן פי שלוש לערך ממספר חילופי האוויר באותה חממה ללא רשתות על הפתחים. כאשר החממה מאווררת ע"י שלוב של פתחי גג וצד, ההשפעה של צפיפות הרשת על האקלים בחממה הולכת וקטנה ככל שהיחס בין שטח חלונות הצד לשטח חלונות הגג הולך וגדל. כאשר שטח חלונות הצד שווה לשטח חלונות הגג לצפיפות הרשת בחלונות הגג השפעה זניחה על המיקרואקלים. תוצאות ראיית הזרימה ולכידת כע"ט בתוך החממה מראות כי ניתן כנראה לבצע אופטימיזציה של פתחי הגג והרשתות המותקנות עליהם מאחר ואופייני הזרימה אינם זהים בכל הגמלונים. ישנם גמלונים בהם רוב הזמן, כפי הנראה, משטר זרימת האוויר דרך הפתח הוא מהחממה כלפי חוץ. ישנם גידולים פחות רגישים לכנימת עש הטבק כמו פלפל בהם ניתן להתקין בחלונות הגג רשת דלילה יותר כדוגמת "17 מש", התורמת לשיפור האוורור ומצליחה להוריד את הטמפרטורה והלחות לערכים נמוכים מאלה המתקבלים עם רשת 50 מש.

3. המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. לצפיפות הרשת המותקנת על חלונות הגג השפעה משמעותית על הטמפרטורה, הלחות וקצב האוורור של החממה. צפיפות הרשת משפיעה משמעותית גם על חדירת מזיקים לחממה ועל הנגיעות במחלות בתוכה. יש להתאים את צפיפות הרשת למידת הסיכון של הגידול במבנה ממזיקים ותנאי עקה אקלימיים. בגידולים רגישים לצהבון האמיר (עגבניות) יש צורך לכסות את פתחי הגג ברשת צפופה (כדוגמת "50 מש") ולמנוע מזיקים מסחריים. בגידולים שאינם רגישים לצהבון האמיר (פלפל) ניתן להשתמש ברשתות דלילות לכיסוי פתחי הגג (כדוגמת "17 מש") ולשפר את האוורור תוך הורדת הטמפרטורה והלחות במבנה. ניתן, כפי הנראה, לשפר את יישום הרשתות בפתחי הגג ע"י שימוש מושכל בידע על כיווני הזרימה דרך החלונות. באזור מסוים בחלון, או בחלון של גמלון מסוים בו צפויה רב הזמן (או תמיד) תנועת אוויר מהמבנה החוצה, אפשר להתקין רשת יותר דלילה כי לחרקים קשה יותר לחדור משם. המשך המחקר יתרום להבנה מעמיקה יותר של כיווני זרימה דרך חלונות גג ויאפשר תכנון קודקוד חממה עם חלונות גג בצורה טובה יותר תוך אופטימיזציה של מיקום החלון והרשת המותקנת עליו. התוצאות שקיבלנו השנה מעודדות וראויות לבחינה מעמיקה יותר. אנו מעוניינים להמשיך את המחקר, להעמיק את הידע, לבסס אותו ולהגיע למסקנות אותן ניתן ליישם בשטח.

4. הבעיות שנותרו לפתרון ואו השינויים שחלו במהלך העבודה. בשל בעיות זמן ותקציב לא התאפשרו ניסויים עם מספר גדול יותר של רשתות בעלות צפיפות שונה. כמו כן לא ערכנו מספיק ניסויים על מנת לבחון את אופן חדירת כע"ט דרך רשת במנהרת רוח במהירויות אוויר שונות. הניסויים היו מתוכננים להתבצע בחממה בבית

דגן אך בשל היקף התקציב לא יכולנו לסיים את הקמת החממה והעדפנו לבצע את הניסויים בחוות הבשור. אנו משוכנעים כי יש לערוך ניסויים בהיקף רחב יותר של ראיית זרימה בחלל המבנה ובסמוך לחלונות, על מנת לבדוק אפשרויות לשיפור צורת הפתח ומיקומו בקודקוד החממה. אנו ממליצים לבחון את האפשרות לשלב מספר רשתות בעלות צפיפות שונה בגמלוני השונים בחממה. הצפיפות תיקבע בהתאם לכיוון זרימת האוויר דרך חלונות הגג של כל גמלון. יש להניח שכוון הזרימה תלוי במשטר הרוחות בהם ממוקמת החממה ובכוון שלה ביחס לרוחות.

5. האם הוחל כבר בהפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח.

הניסויים והתוצאות שהתקבלו הוצגו במקומות הבאים:

- 1) 3<sup>rd</sup> International Workshop on Models for Plant Growth and Control of the Shoot and Root Environments in Greenhouses. Bet Dagan, February 21-25, 1999.
- 2) The 13<sup>th</sup> conference of the entomological society of Israel, Gilat experimental station, March 19, 1998.

3. יום פתוח שנערך בחוות הבשור בינואר 2000.

העבודה פורסמה במספר מאמרים:

- 1) M. Teitel, M. Barak, M.J. Berlinger, Sara Lebiush-Mordechi. (1998). The effect of screen mesh on greenhouse microclimate and insect penetration. Hassade, 79(4), 430-435. (in Hebrew).
- 2) Teitel, M., Shklyar, A. (1998). On the pressure drop across insect-proof screens. Transactions of the ASAE. 41(6), 1829-1834.
- 3) Teitel, M., Barak, M., Berlinger, M.J., Mordechai, Sara L. 1999. Insect proof screens in greenhouses: their effect on roof ventilation and insect penetration. *Acta Horticulturae*, 507, 25-34.
- 4) Teitel M., Berlinger M.J., Barak M., Sara Lebiush-Mordechai. (1998). Screening for insect control in naturally ventilated greenhouses. *Phytoparasitica*, 26(3), 269-270.