שיפור מצב המים בצמחים על ידי בקרת השקיה ומיקרואקלים לשיפור איכות התוצרת בחממות.

חוקרים שותפים:

פרו'פ מרסל פוקס, ד"ר אהוד דיין, יבגני פרסנוב, ד"ר שבתאי כהן - מינהל המחקר החקלאי, המכון לקרקע ומים.

אלי מתן- מו"פ דרום

תקציר:

1. הצגת הבעיה: ההתנגדות הגדולה של שכבת האוויר סביב לצמחים בחממות, מחלישה את ויסות הדיות דרך פיוניות. סגירת פיוניות גורמת לעליית טמפרטורת העלווה, לכן עקת מים גורמת נזק רב לגידול . בגלל הצורך להדיח מלחים ממצע הגידול משתמשים החקלאים במנות מים גדולות מאלה שהצמחים מוציאים בדיות אולם למרות זאת בגלל שמנות המים ניתנות בעיתוי לא נכון, אין הנזקים נמנעים.
2. מהלך ושיטות עבודה: דוח זה מציג ובוחן מודל המאפשר לנצל את מערכות המדידה והבקרה בצורה מיטבית ע"י תוספת חישנים למדידת זרימת מים בגבעולים, מדדי פוטנציאל מים במצע ובצמח, ומדידת טמפרטורת הצמח. העבודה נעשתה בחממת ורדים.
3. תוצאות עיקריות: הקטנה בהסעת החום דרך האוויר בחממה יוצרת מרופפת את הקשר בין דיות לבין גרעון מים באוויר בחוץ ומהדקת את הקשר בין הדיות והספקת האנרגיה הקרינתית. הקשר הוא ליניארי. בקרת האקלים בחממה משפיעה על צורת הקשר. אוורור וחימום מגבירים דיות, אך הקשר הליניארי נשמר. הפעלה של מזרון לח מצננת אמנם את האוויר על ידי הפיכת האנרגיה חום כמוס, אבל מקטינה את הדיות מן הצמחים.
4. מסקנות והמלצות: הגישה הפשוטה ביותר להשגת שיפור במצב המים בצמחים היא אומדן צריכת המים לפי קרינה. בקרה יעילה של ההשקיה דורשת תוספת מכשור למדידת הדרישה הסביבתית לאידוי ומצב המים בצמח ובמצע.

רקע:

הסעת של אנרגית השמש הנבלעת בעלים בחממות נתקלת בהתנגדות גבוהה של שכבות הגבול סביב העלים. ההתנגדות הגבוהה היא תולדה של ההפחתה שגורמים המבנים לתהליכי האוורור סביב הצמחים. בגלל ההתנגדות הגבוהה יחסית להסעה, העלים מתחממים, נגרמת עליה בגירעון לחץ האדים שבין העלים לאוויר וגדלות כמויות המים באוויר החממה. למרות ההתנגדות הגדולה ולמרות הלחות הגבוהה השוררת סביב הצמחים, ניתן להראות- גם בחישוב וגם בניסוי- שקצבי הטרנספירציה של העלווה הם גבוהים יחסית (Stanhill and Scholte Albers, 1974; Yang et al., 1990; de Villele, 1972) .

האוורור, נועד להפחית את עודפי החום שיוצרת הקרינה בחממה, ולהקטין את הלחות בחממה אולם גם הוא מגדיל את הטרנספירציה. (Yang et al., 1990) . כתוצאה מאלה שטפי קרינה גבוהים מלווים אידוי רב ושינויים יומיים בקרינה ובפעולות בקרת האקלים – אוורור , מזרון לח, ערפול וכו',- גורמים תנודות במנות המים שהצמחים מאדים.

בגלל הצורך להדיח עודפי מלחים מבית השורשים, במיוחד כאשר גידול נעשה במצע מנותק, כמויות המים שמקובל להשתמש בהן לשם השקיה בבתי צמיחה הן בד"כ גבוהות. אולם מאחר וההשקיות ניתנות באינטרוולים קבועים, ללא התחשבות בקצבי וצרכי האידוי- אין כמויות המים האלה מונעות את העקות והנזקים לכמות ולאיכות התוצר. רוב גידולי החממות סובלים מעקות יובש בעיקר בקיץ. דוגמא בולטת לכך זהו גידול רב שנתי, המגדלים מעוניים לשווק את יבולי הקיץ, בעוד עקות המים בקיץ מורידות מאיכות הפרחים בעונה זאת ובשוליה.

כדי למנוע את העקות ואת הנזקים הנלווים יש צורך להתאים את מועדי ומרווחי ההשקיה לצורכי האידוי.

ניתן למנוע מצבי עקה על ידי זימון ההשקיה בהתאם לצורכי האידוי. שלוש הבעיות העיקריות הכרוכות בהתאמה כזאת הן תכנון לוח ההשקיה בזמן אמיתי, יצירת צירופי הדשנים הנחוצים במנות המים המשתנות, והבטחה זמינות המים לשורשים על ידי פיזור נכון של מנות המים במצע.

מודל תיאורטי:

קימת אינטראקציה בין קליטת המים בצמח, מצב המים ובין זמינות המים, והתנאים הסובבים את הצמחים. בגלל מורכבותן של אינטראקציות אלה יש צורך להשתמש במודל כדי לפרש את תוצאות הניסויים. המודל שבו השתמשנו הוא יישום פשוט של מאזן אנרגיה בתנאי נתק. (Decoupling) . המודל עוסק בתנועת החום המוחש והחום הכמוס מן הצמח אל הסביבה הפנימית וממנו לסביבה חיצונית מבעד למעטפת המפרידה ביניהם. אותם שטפי אנרגיה עוברים גם מן הצמח לסביבה הפנימית מבעד לשכבת הגבול שסביב הצמחים וגם מבעד למעטפת החממה לאוויר בחוץ. האוורור הנדרש לצורך תפעול המבנים בשעות שבהן הקרינה גבוהה, מווסת את הקשר שבין האקלים מחוץ לחממה ובין התנאים השוררים בתוכה.

ניסויים וחישובים:

הניסויים נערכו בבית צמיחה רב גמלוני בתחנת הניסויים הבשור. ($31^0$16'N, $34^0$24'E). רוחב כל גמלון 7.5 מ׳ ואורכו 23 מ׳. גובה שדרת הפסגה בראש הגמלון 5.6 מ׳ וגובה המרזב 4 מ׳. האורינטציה שלהם צפון דרום. החממה הייתה מכוסה ביריעת פוליאתילן, מועשרת בחומרים לבליעת קרינה ארוכה באורך גלים שבין 8 ל 15 מיקרון ולבליעת קרינה אולטרא סגולה בגלים קצרים מ 3.5 מיקרון, בעובי 150 מיקרומטר (תוצרת ביהח״ר ליריעות פלסטיק בקיבוץ ״גניגר״). דפנות הפלסטיק בהיקף המבנה היו ניתנים לגלילה כלפי מעלה: הדופן הדרומי מגובה 0.8 מ׳ מעל לפני הקרקע ועד לגובה 2 מ׳ והדפנות הצפונית המזרחית והמערבית עד לגובה 2.8 מ׳. הפתחים בהיקף החממה היו מכוסים ברשתות פלסטיות, 50 mesh, שלא איפשרו חדירה של גופים שקוטרם עלה על 0.35 מ״מ. כאשר הטמפ׳ בחממה עלתה על 28 מ״צ, נפתח חריץ אוורור ברוחב של 1 מ׳ , לאורך המרזב המזרחי של כל גמלון.

ב 16 לספטמבר 1996 נשתלו בחממה ״שתילונים״ של ורדים מן הזן ״לונג מרצדס״. השתילים נשתלו במכלי ״קלקר״ ברוחב של 0.5 מ׳ * אורך של 1.04 מ׳ ועומק של 0.23 מ׳ שמולאו בתערובת טוף 0.8 mesh מועשר ב 15% חומר אורגני. בכל גמלון, הוצבו המכלים בארבע שורות, במקביל למרזב: אורך כל שורה 20 מ׳, 1.82 מ׳ ממרכז שורה אחת למרכז השורה השניה. בכל מיכל נשתלו 14 שתילים צפיפות השתילה שנוצרה הגיעה לפיכך ל 7.5 שתילים למ״ר. הגידול נעשה בשיטת הכיפוף: הענפים בעלי האיכות הנמוכה כופפו לעבר השביל ובתוך מספר חודשים כיסתה קמה ירוקה את השבילים.

ההשקיה והדישון (N,P,K ומיקרואלמטים) נעשו מבעד למערכת טפטוף., מנת המים – 12-16 ליטר ליום למ״ר חולקה ל- 4 פעמים ביום, הבטיחה נקז של למעלה מ 50% ומוליכות של 2-3 mS/cm , במי הנקז. הדברת מזיקים ומחלות נעשתה בהתאם להוראות מקובלות.

תנאי האקלים בחממה אופיינו ע״י מדידה של הטמפרטורות והלחות באוויר. המדידה נעשתה בעזרת פסיכרומטרים באמצע הנוף, מעל לנוף וסמוך לפתח האוורור בגג המבנה. כמו כן נמדדו טמפרטורת העלים. מדידה זאת נעשתה בשלוש חזרות, בעזרת תרמו-קפלים מטיפוס T בעובי 80 מיקרו-מטר שהוצמדו לצד התחתון של העלים. כמו כן נמדדה האואפו- טרנספירציה המדידה נעשתה אחת ל שלושים דקות בעזרת ליזימטרים. הליזימטרים הורכבו ממאזניים רגישים שעליהם הוצב מיכל בו גדלו שמונה צמחים שנשתלו וטופלו בדומה לשאר הצמחים בחממה.

החישובים של מודל הטרנספירציה התבססו על ההתנגדויות בין שטפי האנרגיה היוצרים את מאזני האנרגיה בשיווי משקל של העלים ושל האוויר בחממה. בחישובים נלקחו בחשבון: השינויים שחלים במאזני הקרינה בהתאם לתכונות הספקטרליות של הכיסויים ושל העלים; וכן השינויים בהתנגדויות של העלים למעבר אדי מים בהתאם לתגובת הפיוניות לאור השינויים בהתנגדויות שכבת הגבול סביב העלים טופלו בעזרת משואות מעבר הנדסיות מקובלות המבוססות על מאפיינים של ממדי העלים וזרימת האוויר (Stanghellini, 1987).

היחסים הלא ליניאריים בין קרינה ארוכת גל ובין לחץ אדים ברוויה – חושבו, לפי טמפרטורת העלים בעזרת איטרציות בשיטת Newton-Raphson.

תוצאות:

לפי חישובי המודל, (ציור מס׳ 1) קיים יחס ליניארי בין הטרנספירציה לבין הקרינה הגלובלית אלא שהיחס תלוי בלחות של האוויר מחוץ לחממה. המדידות שנערכו בחממה בחלק העונה שבו עומס החום היה גבוה (ציור מס׳ 2), מוכיחות שיחס ליניארי כזה אמנם קיים הלכה למעשה. בבחינה סטטיסטית סטיית האינטרספט של הקו הליניארי שהותאם לתוצאות המדודות אמנם

אינה נבדלת מאפס (= 0.01924 ± 0.03092-) ומקדם הקורלציה הוא גבוה (0.90429), אולם בין התוצאות יש פיזור גבוה (סטיית תקן של $0.08399\ mm\ h^{-1}$) תופעה המצביעה על מעורבותם של גורמים נוספים בקביעת שיעורי הטרנספירציה. לפי תחזיות המודל, ניתן לשער שאחד הגורמים האלה הוא הלחות מחוץ לחממה (ציור מס׳ 1).

היחסים בין קרינה נבלעת לשיעורי החום הכמוס חושבו לפי מדידות הטרנספריציה והם מוצגים בציור מס׳ 3. לפי היחס בין שטפים אלה הטרנספירציה מקזזת כ 80% מן האנרגיה הנבלעת בעלים ולפיכך רק שארית של כ 20% מן האנרגיה של השמש מחממים את בית הצמיחה. הציור מראה שבהרבה מקרים שיעורי החום הכמוס היו אפילו גבוהים יותר משיעורי הקרינה – סימן לכך שהעלווה ציננה את האוויר שנכנס לחממה.
היחסים בין הטרנספירציה והקרינה הגלובלית, תלויים גם במשטר האוורור בחממה. משטר האוורור נשלט על ידי הפעלת מאווררים, פתיחת חלונות גג או גלילה של הוילונות בהיקף המבנה. שיעורי הטרנספירציה שחושבו בעזרת המודל והוצגו בציור מס׳ 4, מכסים את השונות בין התוצאות שנמדדו בניסויים. התוצאות המחושבות מראות שקיימת אינטראקציה גם בין הלחות באוויר הנכנס לבין משטר האוורור: כאשר לחות האוויר הנכנס לחממה גבוהה (קו רציף), ההשפעה של האוורור על הטרנספירציה היא נמוכה יחסית, ואילו כאשר הלחות נמוכה, הגברת האוורור מעוררת את הטרנספירציה בצורה ניכרת.

גם בתוצאות המדידות יש ביטוי לקשר בין אפקטיביות הצינון של העלים בחממה כלפי האוויר הנכנס לבין משטר האוורור. ציור מס׳ 5 : מראה שההפרשים שנמדדים בין טמפרטורות של העלים או האוויר בבית הצמיחה לבין טמפרטורות האוויר הנכנס, הם נמוכים יותר, ולעיתים אף שליליים כאשר מהירויות הרוח מחוץ למבנה גבוהות יותר. ההבחנה בין מהירות רוח גבוהה לנמוכה היה ערך החציון (Median) של מהירות הרוח - 3.8 מ׳ לשניה- בקובץ הנתונים.

בעזרת חישובים במודל ניתן לשחזר גם את המגמה המתבטאת ביחסים המדודים בין הקרינה לטמפרטורות במבנה ואף את העובדה שמסלולי התחממות העלים והאוויר בחממה בהשפעת קרינה, עוברים דרך ערך מינימלי (אפקט מצנן מכסימלי של העלים לגבי האוויר הנכנס). החישוב מראה שהערך המינימלי מושג כאשר הקרינה היא של 200 ואט למ״ר בעוד שלפי המדידות (ציור מס׳ 5) הוא מושג רק ב 400 ואט למ״ר. הפרש זה מוסבר בכך שהחישוב נעשה על סמך הנחה שהאוורור בחממה קבוע בעוד שלמעשה, כפי שהדבר מתבטא גם בניסויים, עליית הטמפרטורות במבנה תלויה בצורה משמעותית במהירות המשתנה של הרוח.

היחסים בין הטרנספירציה ובין ההפרשים שבין הלחות באוויר שמחוץ למבנה והלחות במבנה אינם מתנהלים תמיד כפי שהאינטואיציה מאפשרת לחשוב. לפי ציור מס׳ 7 הטרנספירציה עולה ככל שעולה ההפרש בין הלחות במבנה ובין הלחות מחוץ למבנה- כפי שמקובל לחשוב. בצורה אינטואיטיבית ניתן היה לשער שהגברת האוורור- תביא לירידה בהפרשים אלה אולם הציור מראה שההפרשים האלה גדולים יותר כאשר הרוח חזקה יותר, יחסים בלתי מוסברים אלה הם ככל הנראה תוצאה הקשורה לעובדה שהקרינה גורמת לעלייה בטרנספירציה אפילו כאשר הלחות במבנה נשארת קבועה.

תמצית ההוצאה לפועל של המחקר:

1. מטרות:

1.1 מדידה מדויקת online של טרנספירציה בצמחי ורדים.
1.2 פיתוח איסטרטגיה של משטר השקיה שימזער את מצבי העקה בצמח.

להשגת שתי מטרות אלה נעשה שימוש בליזימטרים ופותח מודל. הנושאים הקשורים לזיהוי תנאים המסבים עקת יובש בצמחים ייבחנו מאוחר יותר.

2. **תוצאות עיקריות**:

הטרנספירציה בחממה תלויה בעיקר בקרינה.
ללחות ולטמפרטורה מחוץ לחממה יש אפקט משני על הטרנספירציה.
הלחות בחממה נקבעת על ידי שטף החום הכמוס (Transpiration-evaporation) ומידת האוורור.
ההשפעה של האוורור על הטרנספירציה תלויה בלחות של האוויר החיצוני.

3. מסקנות מדעיות:

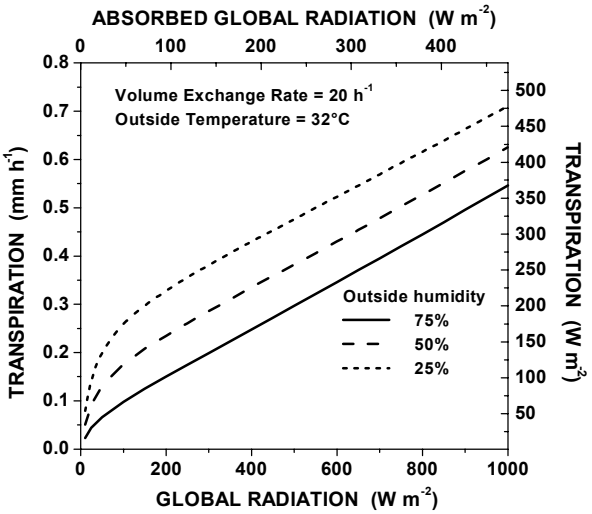
הטרנספירציה תורמת תרומה נכבדת לתהליכי הצינון בחממה.
ויסות הטמפרטורה בחממה תלוי בהספקה טובה של מים לבית השורשים.
יש צורך בחישנים מתאימים לניטור תנאים אלה.

4. בעיות שיש לחפש להן פתרון

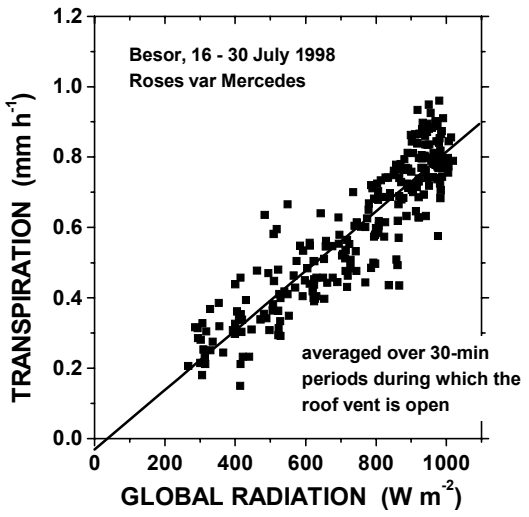
איתור של עקות מים הגורמות נזקים לאיכות או כמות התוצר.

5. פרסומים:

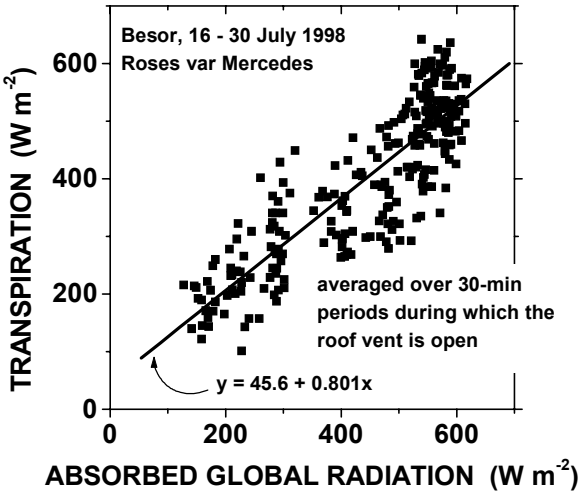
דוח זה באנגלית יהווה בסיס לפרסום ב Scientia Horticulturae .



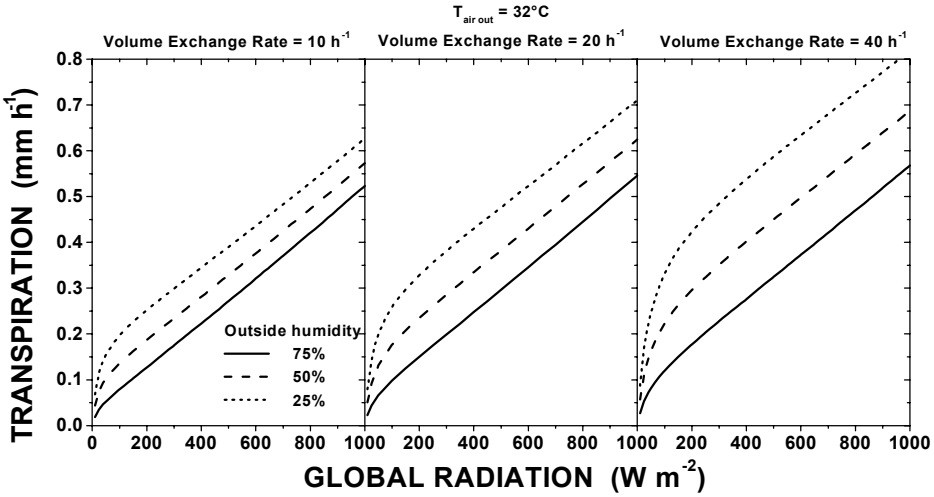
ציור מס' 1: חישוב, בעזרת המודל, של תגובת
הטרנספירציה לשינויים בקרינה, בתנאים שונים של לחות.



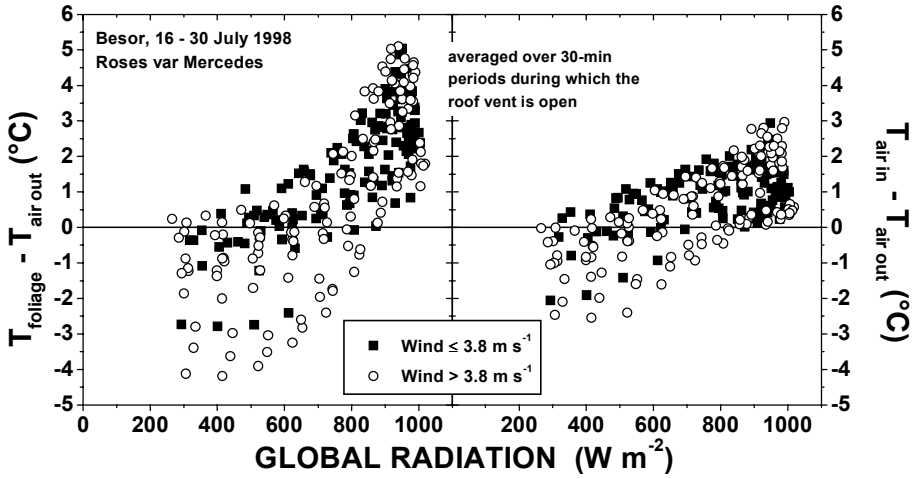
ציור מס' 2: תוצאות מדידות של תגובת טרנספירציה לשינויים בקרינה כפי שנמדדו בתחנת הניסויים בשור, בעונה של עומס חום



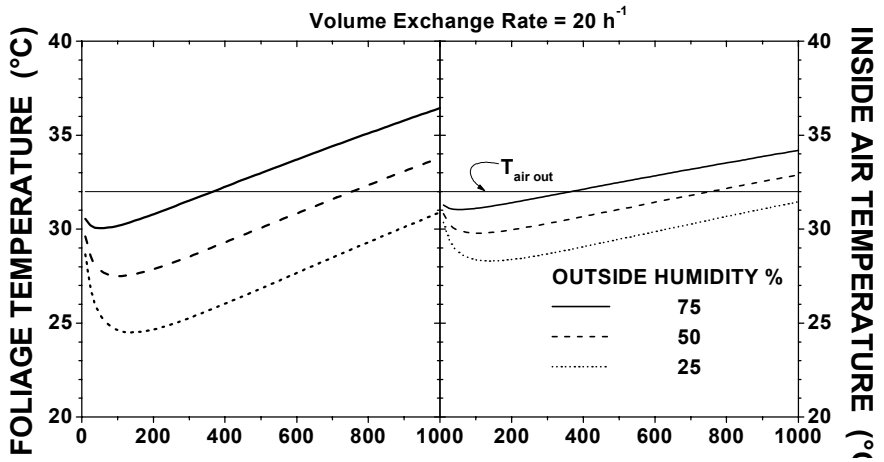
ציור מס' 3: השפעת שיעורי הקרינה שנבלעו בקמה על הטרנספירציה מן הקמה. הטרנספירציה מסיעה חלק גדול מן הקרינה הנבלעת



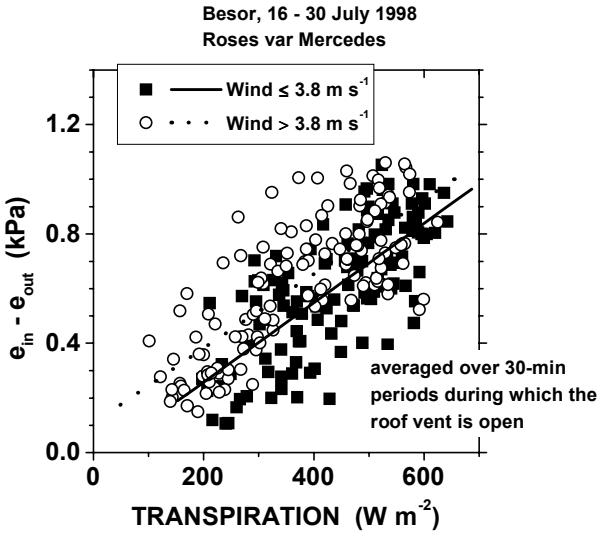
ציור מס' 4: תחזיות בעזרת המודל, על השפעת שיעורי הקרינה על שיעורי הטרנספירציה מן הצמחים מצביעות על אינטראקציה גם עם משטרי האוורור והלחות של האוויר הנכנס לחממה.



ציור מס' 5: ההשפעה של קרינה גלובלית מחוץ למבנה על ההפרש שבין טמפרטורת העלים והאוויר בחממה לבין טמפרטורות האוויר הנכנס לחממה.



ציור מס' 6: תחזיות בעזרת המודל, על השפעת שיעורי הקרינה על טמפרטורות האוויר והעלים בחממה דרך השפעת הקרינה על הטרנספירציה.



ציור מס' 7: השפעת הטרנספירציה והאוורור על הפרשי לחץ האדים בין האוויר במבנה לאוויר הנכנס אליו.