

שפור האוורור בחממות גדולות (חממות הדור הבא)

טייטל מאיר, ברק מוטי - המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי.
מרסל פוקס, אהוד דיין - המכון לקרקע מים וסביבה, מכון וולקני.

תקציר:

בחממות קטנות ששטחן כדונם או פחות, פתחים בקירות החממה בדרך כלל מספיקים לאוורור טוב. כששטח החממה גדל מעל מספר דונמים, כפי שחקלאים רבים נוטים כיום לבנות (בשל החסכון הכספי ונוחות התפעול), החלונות בקירות אינם מספיקים לאוורור נאות, בשל מפל הלחץ הגדול שעל הצמחייה, ונראה כי המעבר לאוורור ע"י פתחי גג הוא הכרחי. הידע בנושא אוורור חממות גדולות בעלות פתחי גג הנו מועט, ובמיוחד נכון הדבר לדגמי חממות כמו בישראל המצוידות ברשתות נגד חרקים. נבנתה מערכת המאפשרת מדידת קצב אוורור ונמדד קצב האוורור של חממה המאווררת ע"י פתחי גג עם רשת "50 מש" וגם ללא רשת. נמדדו טמפרטורות ולחויות בגבהים שונים בשתי חממות סמוכות, האחת בעלת פתחי גג עם רשתות "50 מש" ובשניה רשתות "17 מש". נערכו צילומים של ראיית זרימת האוויר על יד חלונות הגג של החממה שבה הותקנו רשתות "50 מש". התוצאות מראות כי ניתן כנראה לבצע אופטימיזציה של פתחי הגג והרשתות המותקנות עליהם מאחר ואופייני הזרימה אינם זהים בכל הגמלונים. ישנם גמלונים בהם זרימת האוויר דרך החלון היא רב הזמן מהחממה החוצה ולכן יקשה על החרקים לחזור משם. נוסף על כך, בגידולים פחות רגישים לכנימת עש הטבק כמו פלפל, ניתן להתקין בחלונות הגג רשת 17 מש התורמת לשיפור האוורור ומצליחה להוריד את הטמפרטורה והלחות לערכים נמוכים מאלה המתקבלים עם רשת 50 מש. צילומי העשן לראיית זרימה מראים באופן איכותי כי פתחי הגג בחממות בהן בוצעו הניסויים אינם אופטימליים מאחר וזרם האוויר היוצא מהחלון מופרע ע"י הגמלון הסמוך שממול לחלון הגג.

רקע כללי והגדרת הבעיה:

עומס חום גבוה בחממות הנו אחד הבעיות הקשות שבמקרים רבים מביא להפסקת הגידול בחדשי הקיץ ונוסף על כך מקשה על העובדים ומוריד את תפוקתם. אוורור הוא האמצעי הנפוץ והזול ביותר בהקלה על עומס החום בחממות. בחממות קטנות ששטחן כדונם או פחות, פתחים בקירות החממה בדרך כלל מספיקים על מנת לאפשר אוורור טוב. כאשר שטח החממה גדל מעל מספר דונמים, כפי שחקלאים רבים נוטים כיום לבנות (בשל החסכון הכספי ונוחות התפעול), החלונות בקירות אינם מספיקים לאוורור נאות של החממה. ממדידות שנעשו בחממה עולה כי בחלק העליון של החממה נוצרת שכבת אויר חמה, יציבה מבחינה תרמית, היושבת על שכבת אויר פחות חמה (בחלל התחתון של החממה) ולא יציבה מבחינה תרמית (Fuchs et al., 1996). האוורור של חממות גדולות בעזרת פתחים בקירות אינו יעיל, כפי הנראה בגלל שגרדיאנט הלחץ הנוצר מזרימת האוויר על פני המבנה בין הפתחים הפונים לרוח לאלה שבמורד הרוח, אינו מספיק על מנת להתגבר על מפל העומד שבחממה וליצור זרימת אויר טובה דרך הצמחייה. הדבר נכון במיוחד במקרה של גידולי הדליה הגדלים לגובה שבהם ההתנגדות לזרימת אויר גדולה. כתוצאה מכך נוצרים בחממה כיסי אויר חם בעלי לחות גבוהה (Aubinet, 1991) המעודדים התפתחות מחלות. נראה כי הפתרון לבעיה זו הוא פתיחה של חלונות גג המאפשרים אוורור טוב מזה של חלונות צד. האוורור הטוב יותר נובע הן בשל האפשרות של האוויר החם המצטבר בחלק העליון של החממה לצאת מהמבנה בגלל כוחות ציפה והן בשל אפקט היניקה הנוצר בחלקו העליון של הגג בשעה שרוח נושבת על החממה. כתוצאה מכך מתקבלים פרוסי טמפרטורה ולחות אחידים יותר במבנה בהשוואה לאוורור ע"י חלונות צד. מניסויים במנהרת רוח וממודלים, עולה כי אנו עדיין רחוקים מלהבין מהם הפרמטרים המשפיעים על תכנון אופטימלי של חלונות גג ועל הבקרה לתזמון פתיחתם. נוסף על כך, הידע בספרות המקצועית על המיקרואקלים המתפתח בחממה גדולה עם חלונות גג (כמו אלה הנפוצים לאחרונה בארץ) הנו מועט, ובמיוחד נכון הדבר לגבי חלונות גג בהם מותקנות רשתות נגד חרקים.

מטרות המחקר:

- לייעל את התכנון של חלונות גג ואת השימוש בהם בחממות גדולות.
- 2.1 למדוד ולכמת קצב אוורור של חממה המאווררת ע"י חלונות גג.
- 2.2 לאסוף אינפורמציה על המיקרואקלים המתפתח באותה החממה.
- 2.3 לערוך צילומי עשן ולהשתמש בטכניקות של ראיית זרימה על מנת לאפיין זרימת אוויר דרך פתחי גג.
- 2.4 לאפיין שטפי חום ממוצעים וטורבולנטיים דרך חלונות הגג.

חומרים ושיטות:

רכשנו מכשיר IRGA רגיש המודד ריכוז N_2O ובנינו מערכת למדידת רכוז הגז בחממה. המערכת כוללת מסחררים, משאבת וואקום, מערכת ברזים עם סולנואידים ופיקוד, צנרת, מפוח, שרוול פיזור של הגז ובלון גז חנקן לכיול מכשיר המדידה. המערכת מאפשרת מדידת ריכוז הגז במספר נקודות בחממה בו זמנית בדיוק של 0.5 PPM. הניסויים בוצעו בשתי חממות סמוכות (חצי - מסחריות) בחוות הבשור בעלות מבנה דומה, בשטח של כדונם כל אחת. לכל חממה ארבע גמלוניס באורך 32 מטר וברוחב 7.5 מטר. שתי החממות מצוידות בפתחי גג ובחלונות צד (חלונות הצד נפתחים מגובה 1.7 מ' מהקרקע כלפי מעלה) למטרות אוורור. בשתי החממות כוסו חלונות הצד ברשת "50 מש" ואילו חלונות הגג כוסו בחממה אחת ברשת "50 מש" ובשניה ברשת דלילה "17 מש" שהתנגדותה לזרימת אוויר קטנה. ע"י כך, יכולנו להשוות בין חממה שבה פתחי הגג מכוסים ברשת צפופה לחממה שבה פתחי הגג מכוסים ברשת דלילה שהתנגדותה לזרימת אוויר קטנה. סה"כ שטח חלונות הגג בכל אחת מהחממות כ 90 מ"ר. פרמטרים של מיקרואקלים כגון טמפרטורת אוויר ולחות נמדדו במספר גבהים מעל הקרקע ובשני מקומות בגמלון כפי שמראה איור 1. נוסף על כך נמדדו הקרינה הסולרית והקרינה נטו בכל אחת מהחממות. קצב חילופי האוויר של נמדד ע"י גז סימון בחממה בה הותקנו רשתות "50 מש" בלבד. המדידה נעשתה ע"י החדרת גז סימון (N_2O) ופיזורו בחלל החממה בעזרת מפוח אוויר חזק כדי שהגז יתערבב בצורה הומוגנית. לאחר מכן בוצעה דגימת האוויר בחממה ע"י שאיבת אוויר בעזרת משאבת וואקום ממספר נקודות בחממה ומגבהים שונים. ניטור ריכוזי הגז נערך ע"י הזרמת דגימות האוויר מן החממה אל מכשיר IRGA רגיש המודד ריכוז הגז בתחום 0-50 PPM. נתוני האקלים בסביבת החממה נמדדו באופן שוטף ע"י תחנה מטאורולוגית.

ניסויים שנערכו:

- מדידת קצב אוורור בחממה עם רשת 50 מש. מדידת תנאי אקלים בחממות המאווררת ע"י פתחי גג עם רשתות 50 מש, 17 מש וללא רשת.
- צילומי עשן לראיית זרימה ליד חלונות הגג של החממה עם רשתות 50 מש.
- ניסויים ראשוניים במד רוח אולטראסוני המאפשר מדידת שלשת רכיבי המהירות הממוצעת והטורבולנטית על מנת ללמוד את המערכת ולתרגל את תפעולה לקראת השנה הבאה.

תוצאות ודיון:

מספר חילופי האוויר חושב לפי קצב דעיכת ריכוז הגז בחממה. (Fernandez and Bailey, 1992; Nederhoff at 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 ריכוז קבוע של הגז בחלל החממה. בשיטה זאת ההפרעה לזרימה האוויר (עקב הפעלת מפוחים לערבוב האוויר) גדולה ולכן לא השתמשנו בה. איור 2 מראה את מספר חילופי האוויר של חממה 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 90 מ"ר עליהם היו מותקנות רשתות "50 מש" גדל מספר חילופי האוויר בשעה ל 5. קצב זה גדל

עוד יותר ועלה ל 15 כאשר פתחנו חלונות גג ללא רשתות. התוצאות מצביעות על הקטנה משמעותית ביותר של קצב חילופי האוויר כתוצאה מהתקנת הרשת על פתחי הגג. איור 3 מראה את השינויים בהפרש הטמפרטורה פנים חוץ, מנורמלים בערך ההפרש בזמן אפס כאשר חלונות הגג נפתחו. ערכי הטמפרטורה נורמלו לפי הערך בזמן אפס כאשר פתחנו את הפתחים, על מנת שהערך התחילי של הטמפרטורה מיד עם פתיחת החלונות יהיה אחיד בכל הניסויים ובכל ימי הניסוי. האיור מציג תוצאות עבור ניסויים עם רשתות וללא רשת בפתחי הגג. הוא מראה כי ירידת הטמפרטורה המשמעותית ביותר נרשמה כאשר בחלונות לא מותקנות רשתות, כצפוי. כאשר מותקנות על חלונות הגג רשתות "17 מש" ו"22% צל" ירידת הטמפרטורה איטית יותר והיא מתייצבת על ערכים גבוהים מאלה המתקבלים בחממה המאווררת ללא רשתות על פתחי הגג. עם רשת "50 מש" הייתה הירידה בטמפרטורה האיטית ביותר והפרש הטמפרטורה פנים חוץ היה הגדול ביותר כשהחממה הגיעה למצב שווי משקל. שינויי הלחות הסגולית בחממה תלוי אף הוא בסוג הרשת המותקנת בפתחי הגג כפי שרואים מאיור 4. באופן איכותי ניתן לאומר כי לצפיפות הרשת השפעה דומה על השינוי בלחות לזו שעל השינוי בטמפרטורה. הלחות ירדה לערכים הנמוכים ביותר כאשר לא הייתה רשת על פתחי האוויר. הערכים הגבוהים ביותר של לחות במצב יציב התקבלו עם רשת "50 מש".

צילומי ווידאו של עשן שפוזר ליד חלונות הגג נערכו בשלב זה בחממה שבה הותקנו רשתות "50 מש" בלבד. הצילומים מראים באופן איכותי את עוצמת וכוון זרימת האוויר דרך החלונות. איור 5 מראה דוגמא של צילום. רכשנו תוכנה וכרטיס מחשב המאפשרים הורדת תמונה מסרט וידאו ועיבוד התמונה. התוכנה מאפשרת צפייה בסרט הווידאו בקצב איטי ובחינה מדוקדקת של הזרימה באזור חלונות הגג. מהניסויים הראשוניים שערכנו השנה אנו למדים כי ישנם גמלונים בהם זרימת האוויר דרך חלון הגג היא בכוון מהחממה כלפי חוץ במשך רוב הזמן. בגמלונים אחרים הזרימה תונדת לפעמים לתוך החממה ולפעמים החוצה, בתלות במשבי הרוח. כאשר נשבה רוח במקביל לחלונות הגג, אפשר היה לאפיין בחלון של גמלון מסוים אזורים בהם יש רב הזמן כניסת אוויר ואזורים אחרים בהם חלק ניכר מהזמן האוויר זורם מהחממה החוצה. הדבר מצביע על אפשרות אופטימיזציה של רשתות בצפיפות שונה באזורים השונים בחלון מסוים ובגמלונים השונים בחממה, בהתאם לכוון זרימת האוויר דרך החלון.

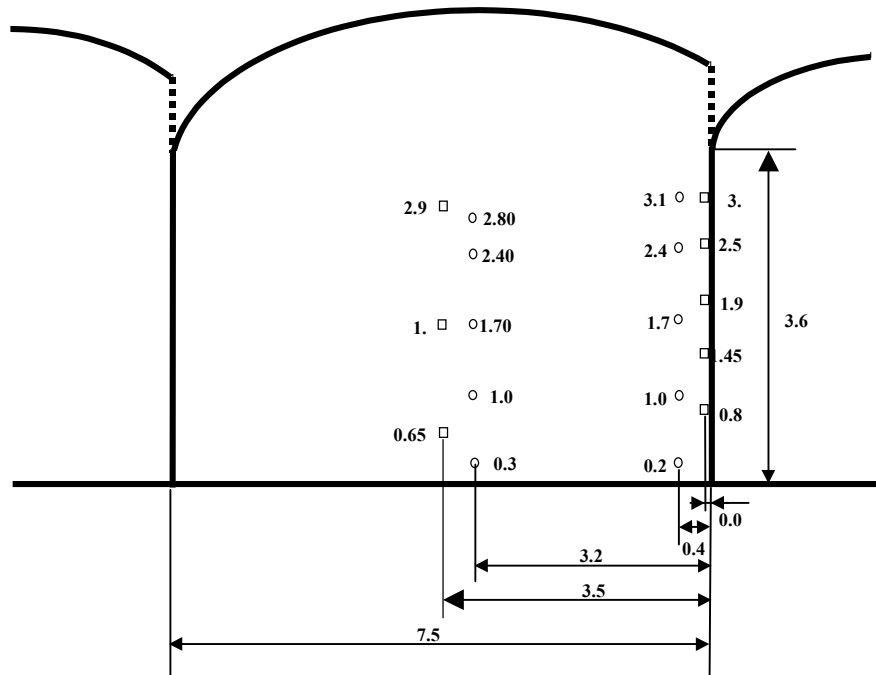
מסקנות:

1. לצפיפות הרשת המותקנת בחלונות הגג השפעה משמעותית על הטמפרטורה ובחממה. רשת צפופה תגרום לטמפרטורה גבוהה יותר מזו המתקבלת עם רשת דלילה. שימוש ברשת דלילה בחלונות הגג "17 מש" לדוגמא, במקום ברשת צפופה "50 מש" מוריד את הטמפרטורה הממוצעת בחממה ב 2 מ"צ לערך.
2. הרשת הדלילה תורמת גם להורדת הלחות הסגולית בחלל החממה. נראה כי לצפיפות הרשת בחלונות הגג השפעה קטנה יותר על הירידה בלחות הסגולית בהשוואה להשפעה על הירידה בטמפרטורה. כמו כן נראה כי הלחות מתייצבת מעט מהר יותר מאשר הטמפרטורה.
3. צילומי עשן ליד חלונות הגג מאפשרים קבלת אינפרמציה איכותית על תנועת האוויר דרך החלונות. נראה כי ישנם גמלונים בהם זרימת האוויר דרך חלון הגג היא בכוון מהחממה כלפי חוץ במשך רוב הזמן. בגמלונים אחרים הזרימה תונדת לפעמים לתוך החממה ולפעמים החוצה. גם בחלון של גמלון מסוים אפשר לאפיין אזורים בהם יש רב הזמן כניסת אוויר ואזורים אחרים בהם האוויר זורם מהחממה החוצה.

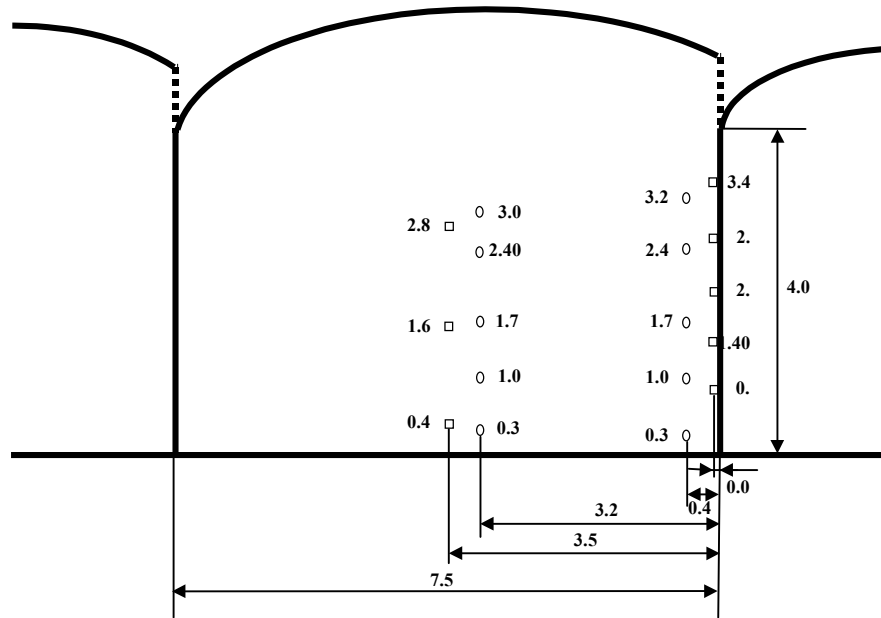
מקורות:

1. טייטל מ., ברלינגר מ., ברק מ., לביוש-מרדכי ש., דינר מ., ושמואל ד. 1998. צפיפות רשת נגד חרקים בפתחי גג בחממות. השדה, עייט, גליון ד', 430 - 435.
2. טייטל מ. 1998. אוורור בתי צמיחה. דפי מידע, ייג, גליון 10, 63 - 65.
- 3) B.J. Bailey, C.J. Graves and K.E. Cockshull. 1993. Influence of wind speed and direction on the natural ventilation of a single span glasshouse. International Workshop on Cooling Systems, Tel-Aviv, May 2-6.
- 4) Boulard T. and Draoui B. 1995. Natural ventilation of a greenhouse with continuous roof vents: measurements and data analysis. J. Agric. Eng. Res., 61:27-36.
- 5) Boulard T., Meneses J.F., Memier M. and Papadakis G. 1996. The mechanisms involved in the natural ventilation of greenhouses. Agricultural and Forest Meteorology, 58:229-245.
- 6) Kittas C., Boulard T. and Papadakis G. 1997. Natural ventilation of a greenhouse with ridge and side openings: sensitivity to temperature and wind effects. Transaction of the ASAE, 40(2):415-425.
- 7) Mistrionis A., G.P.A. Bot, Picuno P., Scarascia-Mugnozza G. 1997. Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation using computational fluid dynamics. Agricultural and Forest Meteorology, 85: 217-228
- 8) Teitel M., Barak M., Berlinger M.J. and S. L. Mordechai. 1999. Insect-proof screens in greenhouses and their effect on roof ventilation and insect penetration. Acta Horticulturae, 507: 25-34.

חממה פתחי גג 50"

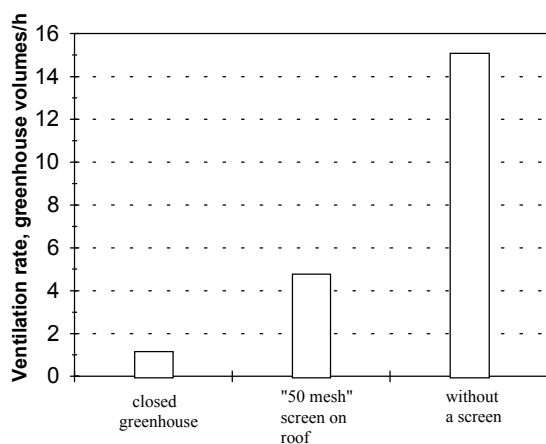


חממה פתחי גג 17"

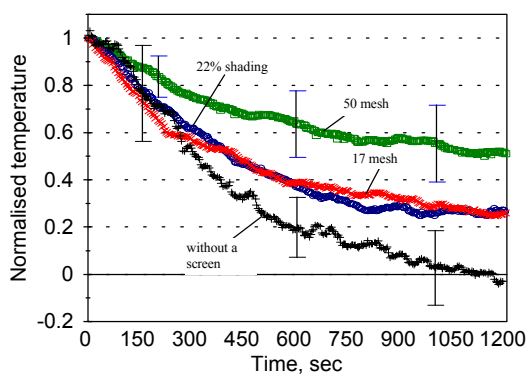


איור 1. תאור סכימתי של מיקום המדידים בחממה. - מדידת טמפרטורה לח ויבש בתא מאוורר,

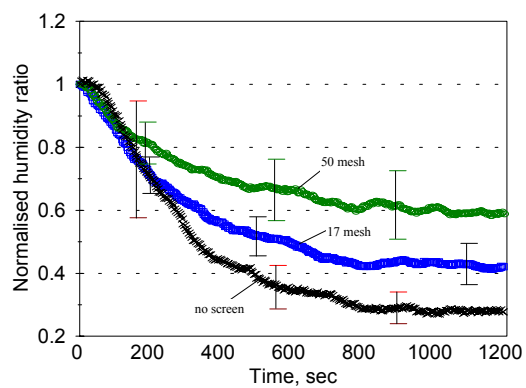
○ - מדידת טמפרטורת יבש בלבד.



איור 2. מספר חילופי אוויר בחממה עם רשת 50 מש וללא רשת.



איור 4. שינויי טמפרטורה מנורמלת מיד עם פתיחת החלונות.



איור 3. שינויי לחות סגולית מנורמלת כפונקציה של הזמן, מיד לאחר פתיחת החלונות.



איור 5. צילום עשן להמחשת כיוון זרימת האוויר דרך חלון גג. הצילום נעשה בחלון הגג של הגמלון האמצעי במרכז החממה.