

הטמעת השיטה של אוורור הדרגתי בחממות מסחריות

Implementing variable ventilation in commercial greenhouses

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

ע"י

מאיר טייטל	המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי
אשר לוי	המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי
ארוז ונגר	המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי
נדב פס	משתלות חישתיל, מושב נחלים
גיאל לידור	המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי

Teitel, M. Institute of Agricultural Engineering, A.R.O., The Volcani Center, P.O.Box 6, Bet Dagan, Israel 50250, grteitel@agri.gov.il

Levi, A. Institute of Agricultural Engineering, A.R.O., The Volcani Center, P.O.Box 6, Bet Dagan, Israel 50250

Wenger, E. Institute of Agricultural Engineering, A.R.O., The Volcani Center, P.O.Box 6, Bet Dagan, Israel 50250

Pass, N. Hishtil Nurseries, Moshav Nehalim 49950, Israel

Lidor, G. Institute of Agricultural Engineering, A.R.O., The Volcani Center, P.O.Box 6, Bet Dagan, Israel 50250, grteitel@agri.gov.il

תקציר

כדי להפחית את עומס החום מחממות החקלאים משתמשים באוורור טבעי או מאולץ. הייתרון של אוורור מאולץ על פני אוורור טבעי שניתן לשלוט בעזרתו טוב יותר על המיקרואקלים. בכל החממות המסחריות, להוציא אולי בודדות, בקרת ההפעלה על המאווררים הינה בד"כ ON-OFF. בשיטת בקרה זו המאווררים נכנסים לפעולה כשהטמפרטורה והלחות עולים מעל סף מסוים ומפסיקים כשתנאי המיקרואקלים מגיעים לסף רצוי. בזמן שהם פועלים המאווררים מסתובבים במהירות הנומינלית. ההפעלות וההפסקות גורמת לתנודות חזקות בטמפרטורה בלחות ובמהירות האוויר שבסביבת הצמחים. מטרת המחקר הינה ליישם ולעודד יישום נרחב של תוצאות שהתקבלו במחקר תשתיתי קודם שעסק בפיתוח מערכת אוורור הדרגתי המסוגלת למתן בצורה משמעותית את השינויים החדים במיקרואקלים שבסביבת הצמח ובו זמנית לחסוך באנרגיה הדרושה להפעלת המאווררים. עבודת המחקר נעשתה במסגרת קול קורא להגשת הצעות בוחן לבדיקת הטמעה יישומית של יידע שנוצר במחקר תשתיתי. הפתרון אותו אנו מנסים להטמיע מבוסס על אוורור הדרגתי שבו המאווררים והמסחררים מחוברים לרשת החשמל דרך ווסתי תדר, כך שמהירות הסיבוב של המאווררים משתנה בהתאם לעומס החום במבנה. לביצוע המחקר נבחרה חממה מסחרית בשטח כ 3 דונם המצוידת ב 12 מאווררים 121 מסחררים. נבנתה מערכת בקרה מקבילה למערכת הקיימת

המאפשרת מעבר מיידי בין שיטת הבקרה הקיימת ON_OFF, לשיטת הבקרה המוצעת, אוורור הדרגתי. לשם בחינת ההשפעה של כל שיטת אוורור על צריכת האנרגיה ועל הגידול הופעלו המערכות בחממה (אוורור וסחרור) מספר שבועות בשיטת ON_OFF ומיד לאחר מכן מספר שבועות באוורור הדרגתי. נעשו שני מחזורים כאלו. התוצאות מראות שניתן להשתמש במאווררים ומסחררים רגילים כמו אלה המותקנים בשגרה בחממות, ללא צורך במאווררים ומסחררים מיוחדים. לא נצפו תקלות מיוחדות בשיטת הבקרה החדשה. בעונת הביניים כשמזג האוויר לא הצריך הפעלה רציפה של המאווררים לאורך כל שעות היום נצפה חיסכון של כ 37% בחשמל. בעונה החמה יותר בקיץ, כשהמאווררים עובדים רוב היום, נצפה חיסכון של כ 7% בלבד. מביקות הפרמטרים הצמחיים: 1. קצב גידול; 2. התעבות על השתילים בבוקר; 3. הופעת מחלות, עולה כי אין הבדל משמעותי בין שיטות האוורור שנבחנו.

הממצאים בדו"ח זה הנם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא

חתימת החוקר _____ תאריך:

תוכן עניינים

1	תקציר.....
3	מבוא.....
5	מטרות המחקר.....
6	פרוט עיקרי הניסויים.....
12	תוצאות.....
16	תצלומים.....
18	הבעת תודה.....

1. מבוא

בשנים האחרונות אנו עדים לתקופות בקיץ בהן הטמפרטורה והלחות עולים לערכים גבוהים מאוד לאורך מספר ימים וכתוצאה מכך לנזקים כבדים לתוצרת החקלאית. להלן קטע שפורסם באינטרנט באוקטובר 2010 המתייחס לבעיה: **"אדום עולה-** מחיר העגבניות נוסקים למחירי שיא, שטרם נראו בארצנו של 17 - 20 שקל לק"ג (בשוק הכרמל אולי תשיגו ב- 15). משרד החקלאות הוציא אזהרה לצרכנים: אל תשלמו יותר מ- 23 שקלים לקילו עגבניות. ההיצע הנמוך והביקוש הגבוה משתוללים יד ביד, וגורמים למחירים מטורפים, לעגבניות באיכות ממש גרועה, **שבתקופה אחרת, אף אחד לא היה קונה, והן היו פשוט נזרקות לפח".**

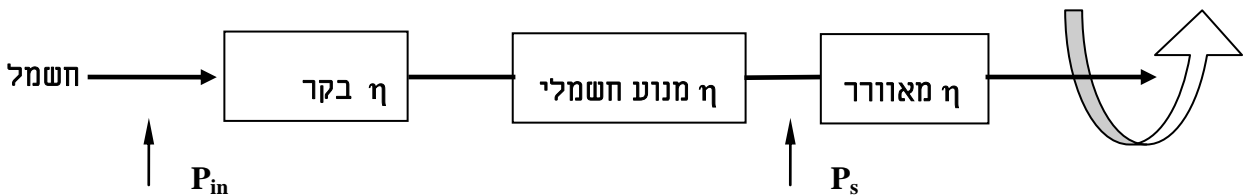
על מנת לשמור על תנאי אקלים רצויים לגידול, חממות מאווררות לעיתים קרובות. בחלק גדול מהמקרים האוורור הוא מאולץ ועודפי החום והלחות מסולקים לרוב ע"י מאווררים גדולים "48. בקרת ההפעלה על מאווררים אלה הינה בד"כ ON-OFF. ממעקב אחר פעולת המאווררים עולה כי הם נכנסים לפעולה כאשר הטמפרטורה והלחות עולים מעל סף מסוים והם מפסיקים לפעול כאשר תנאי האקלים מגיעים לסף רצוי. ההפעלות וההפסקות גורמת לתנודות חזקות בטמפרטורה ובלחות ובמיוחד נכון הדבר כאשר מאווררים חממות אוורור לילי כדי לפנות לחות. חקלאים רבים עובדים לפי משטר אוורור לילי של מספר דקות בשעה, על מנת לפנות אדי מים מחממה מחוממת, ובמקרים אלה הלחות בחממה עולה מיד עם הפסקת פעולת המאווררים.

על מנת למתן את התנודות במיקרואקלים שבסביבת הצמח, להקטין את ההסתברות להתעבות מים על העלווה ולשפר את אחידות המיקרואקלים במבנה, מוצע להפעיל את המאווררים ע"י בקרת תדר משתנה **(בת"מ)**. בשיטה זו משנים את מתח AC הקיים ברשת למתח DC פועם. המתח הפועם מסונן ע"י קבלים המנחיתים את האדווה ומועבר לטרנזיסטורים מסוג IGBT (insulated gate bi-polar transistors) הממותגים בתדר גבוה לטווחי זמן משתנים. כל המערכת האלקטרונית הזאת יכולה לספק למנוע של המאווררים מתח דמוי AC הבנוי מפולסים בתדר הניתן לשינוי. כתוצאה מכך, ניתן לשלוט על מהירויות

הסיבוב של המנוע והמאוורר ועל ספיקת האוויר העוברת דרך החממה ולשנותה באופן רציף מאפס עד ליותר מפי 2 מהערך הנומינלי (תלוי בסוג ווסת התדר וביצרון).

מאווררים המבוקרים ע"י בת"מ יכולים להשתלב ביתר קלות בבקרה ממוחשבת, ההולכת ותופסת מקום נכבד יותר בקרב חקלאים רבים בארץ ובעולם ולאפשר בקרה מתקדמת יותר החוסכת חשמל. השימוש בבת"מ נותן גמישות רבה בהפעלת מאווררים. הוא מאפשר שינוי הזמנים שבהם המאוורר עובר ממהירות אפס למקסימום מהירות ויורד בחזרה לאפס. הוא מאפשר תכנות של מהירויות קבועות מראש ועליות מדרגה ממהירות אחת לשניה. כמו כן, ניתן לבקר על מהירות סיבוב המנוע ע"י בקרת PID. בשוק קיימות חברות רבות המספקות בקרי תדר בהספקים שונים ואין שום בעיה להתקין מערכת בקרה על מאווררי חממה ששטחה 10 דונם או יותר.

מניתוח תיאורטי אפשר להראות כי צריכת החשמל היא פונקציה של מהירות הסיבוב של המאוורר בחזקה שלישית. כלומר, באופן תיאורטי, מאוורר המסתובב פי 2 יותר לאט יצרך פי 8 פחות אנרגיה. בפועל החיסכון באנרגיה הוא יותר קטן כפי שנסביר להלן:

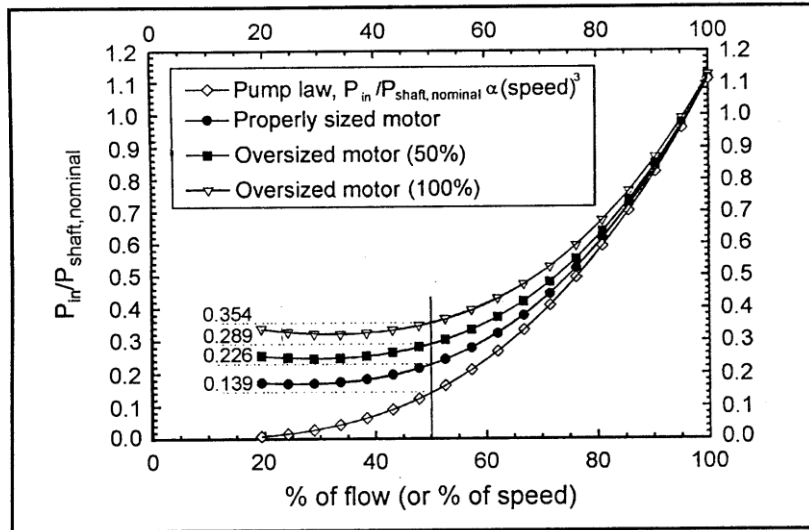


איור 1. סכימה עקרונית של חיבור מאוורר לחשמל דרך בקר סיבובי מנוע.

מאיור 1 אנו רואים כי בין ההספק החשמלי היוצא מרשת החשמל וספיקת האוויר המקררת את החממה ישנם שלושה רכיבים שלכל אחד מהם נצילות קטנה מ 100%. הנצילות של כל אחד מהרכיבים קטנה עם הקטנת מהירות הסיבוב של המאוורר. הנצילות של בקרי תדר עשויה לרדת עד 80% כאשר מהירות הסיבוב של המנוע יורדת ל 25% מהמהירות הנומינלית. ישנם יצרנים הטוענים כי נצילות בקרי התדר שלהם אינה יורדת מ 95% בכל תווך התדירויות. בשנים האחרונות התפתחה מאוד האלקטרוניקה והטכנולוגיה הקשורה לבקרי תדר ובהחלט סביר להניח שהנצילות שלהם קרובה ל 100%. הנצילות של מנועי חשמל בדרך כלל פחות או יותר קבועה בסביבות 90% - 95%, ונצילות המאוורר עשויה לרדת עד כ 30%. ההספק החשמלי הנצרך הוא לכן:

$$P_{\text{חשמלי}} = \frac{P_{\text{תאורטי}}}{\eta_{\text{מאוורר}} \times \eta_{\text{מנוע}} \times \eta_{\text{בקר}}}$$

ההספק תאורטי $P_{\text{תאורטי}}$ הוא ההספק המחושב מבחינה תאורטית והוא נמצא ביחס ישר למהירות הסיבוב בחזקה שלישית. לדוגמא, אם מאוורר צורך 1000 ווט כאשר הוא מחובר לרשת החשמל ומסתובב במהירות הנומינלית שלו, תאורטי $P_{\text{תאורטי}}$ ירד ל 125 ווט כאשר הוא יסתובב בחצי המהירות הנומינלית.



איור 2. היחס בין ההספק החשמלי וההספק על ציר המאוורר כפונקציה של הסל"ד של המנוע.

איור 2 מציג תוצאות אופייניות של הספקים. האיור מתאר את היחס בין ההספק החשמלי (P_{in}) וההספק על ציר המאוורר (P_s) במהירויות סיבוב שונות של המאוורר. האיור מתייחס לארבעה מקרים: (i) פיתוח תיאורטי (היחס פרופורציוני למהירות הסיבוב בחזקה שלישית), (ii) הספק המנוע החשמלי מתואם לצריכת המאוורר, (iii) המנוע החשמלי מועמס ב 50% יותר מהספקו הנומינלי, (iv) המנוע החשמלי מועמס ב 100% יותר מהספקו הנומינלי.

מהאיור ניתן להסיק כי כאשר בוחרים מנוע חשמלי כראוי והוא מסתובב במהירות נומינלית כפי שקורה היום בבקרת ON-OFF היחס $P_{in}/P_{s-nominal} = 1.1$. כאשר מהירות הסיבוב יורדת לחצי

$$P_{in}/P_{s-nominal} = 0.23$$

בעוד שמבחינה תאורטית ההספק נמצא ביחס ישר למהירות הסיבוב בחזקה שלישית כפי שראינו, הרי שספיקת האוויר דרך המאוורר נמצאת ביחס ישר למהירות הסיבוב. כלומר, הקטנה של מהירות הסיבוב פי שניים תקטין את הספיקה פי שניים. מהתבוננות בפעולת מאווררים בחממות אפשר לראות כי זמן הפעולה של המאווררים משתנה בהתאם לעומס החום והלחות. בימים בהם קרינת השמש אינה חזקה במיוחד נראה שהמאווררים נכנסים לפעולה בפרקי זמן קצרים וחלק ניכר מהזמן הם אינם פועלים. אם נשכיל להפעיל את המאווררים לאורך זמן גדול יותר ובספיקת אוויר נמוכה יותר, נוכל למתן את התנודות בטמפרטורה ובלחות ולחסוך אנרגיה. נניח כי נסובב את המאווררים בחצי המהירות בה הם מסתובבים כיום בבקרת OFF-ON, במצב זה נצטרך להפעיל אותם לאורך זמן הארוך פי שניים על מנת להעביר את אותה כמות אוויר. מצד שני ההספק החשמלי הנצרך יהיה כ 0.2 מזה הנצרך ע"י הפעלת OFF-ON. לכן, שה"כ צריכת האנרגיה (כפולה של הספק בזמן) בהפעלה ע"י בקרת תדר המורידה את מהירות הסיבוב לחצי צפויה להיות כ 0.4 מזו המתקבלת בבקרת OFF-ON.

1.1 מטרת המחקר

ליישם ולעודד יישום נרחב של תוצאות שהתקבלו במחקר תשתיתי קודם שעסק בפיתוח מערכת אוורור המסוגלת למתן בצורה משמעותית את השינויים החדים במיקרואקלים שבסביבת הצמח ולצמצם את

בעיית ההתעבות על עלווה בחממה (התפתחות מחלות אוהדות לחות) ובו זמנית לחסוך באנרגיה הדרושה להפעלת מאווררים.

2. פרוט עיקרי הניסויים

הניסויים נערכו באתר חישתיל נחלים במבנה חממה ששטחו כ 3 דונאם המופיע באיור 1 ובתצלום 1. לחממה 4 גמלוניס ומרזבים המונחים בכוון צפון דרום. החממה מאווררת ע"י 12 מאווררים בעלי קוטר כנפיים "48 המותקנים על הקיר המזרחי של המבנה (ראה תצלום 2) והצורכים כ 1100 ווט כל אחד במהירות סיבוב נומינלית כשמנוע המאוורר מחובר ישירות לרשת החשמל (עפ"י נתוני ייצרן). כמו כן מותקנים בחממה 12 מסחררים לסיחרור האוויר במבנה ולקבלת מיקרואקלים אחיד (צורכים כ 560 ווט כל אחד, עפ"י נתוני ייצרן). על ציר אמצעי של כל גמלון מותקנים שלושה מסחררים (ראה איור 3 ותצלום 2). לאורך כל אורכו של הקיר המערבי מותקן מזרן לח המופעל כשקיימת דרישה לצינון המבנה..

המאווררים והמסחררים חוברו לרשת החשמל דרך מפסק בורר ידני בעל שלושה מצבים. במצב הראשון החיבור של המאווררים והמסחררים נעשה דרך ממסר ישירות לרשת החשמל כפי שהיה בחממה לפני תחילת הפרוייקט. במצב השני החיבור נעשה דרך ווסתי תדר ובמצב השלישי היחידות מנותקות מהחשמל ומופסקות ידנית. מאחר ובשיטת האוורור ON_OFF הופעלו בחממה 4 קבוצות של שלושה מאווררים בכל קבוצה, הוחלט לשמור על מבנה דומה גם במהלך הניסויים. לכל קבוצת מאווררים (3 מאווררים) חובר ווסת תדר. סה"כ הותקנו 4 ווסתי תדר למאווררים. התקנה זהה נעשתה למסחררים כך שסך כל ווסתי התדר שהותקנו בפרוייקט היה 8 (תצלום 3). בפרוייקט זה נעשה שימוש בווסתי תדר SV-i5A של חברת LSis מקוריאה.

מערכת הבקרה של החממה שודרגה. נרכש בקר "גלילאו" של חברת גלקון מסוג AC WEX בעל 16 יציאות ו 8 כניסות אנלוגיות שהוספו לו כרטיסי הרחבה כך שסה"כ היציאות והכניסות היו 40 ו 24 בהתאמה (תצלום 3). בשל העובדה שמדובר בחממה מסחרית פעילה המערכת נבנתה בצורה כזו שיהיה ניתן בכל רגע נתון לחזור למצב הקודם של החממה לפני תחילת הפרוייקט.

טמפרטורת ולחות האוויר נמדדו בתוך החממה ומחוצה לה. בתוך המבנה הטמפרטורה והלחות נמדדו בארבע נקודות שונות. בשתי נקודות מתוך הארבע המדידות נעשו ע"י צמד תרמוקפלים לח, יבש שהושמו ביחידה מאווררת והושמו על שולחנות הגידול שבחממה (תצלום 4). בשתי הנקודות האחרות המדידות נעשו ע"י מדידי PT100 שהונחו בתאים מאווררים בגובה כ 1 מטר מעל שולחנות הגידול (תצלום 5). היחידות האלה היו מחוברות במקור לבקר והן אלו שעל פיהן הופעלו כלל מערכות החממה בשתי שיטות הבקרה. במקביל למדידת הטמפרטורה והלחות נמדדה גם מהירות האוויר בחממה ע"י מד מסוג omnidirectional transducer (model 8475, TSI Inc., MN, USA). המהירות נמדדה בסמוך לצמחים שהיו על שולחנות הגידול בשני מקומות בחממה. צריכת החשמל בכל שיטת הפעלה נמדדה באופן רציף ע"י שני מוני חשמל תלת פאזי מסוג DRT-370D בעלי יציאת פולסים (תצלום 6). רזולוציית המונים הייתה 2.5 Wh. האחד מדד את צריכת החשמל של המאווררים והמסחררים והשני את צריכת החשמל הכוללת של החממה.

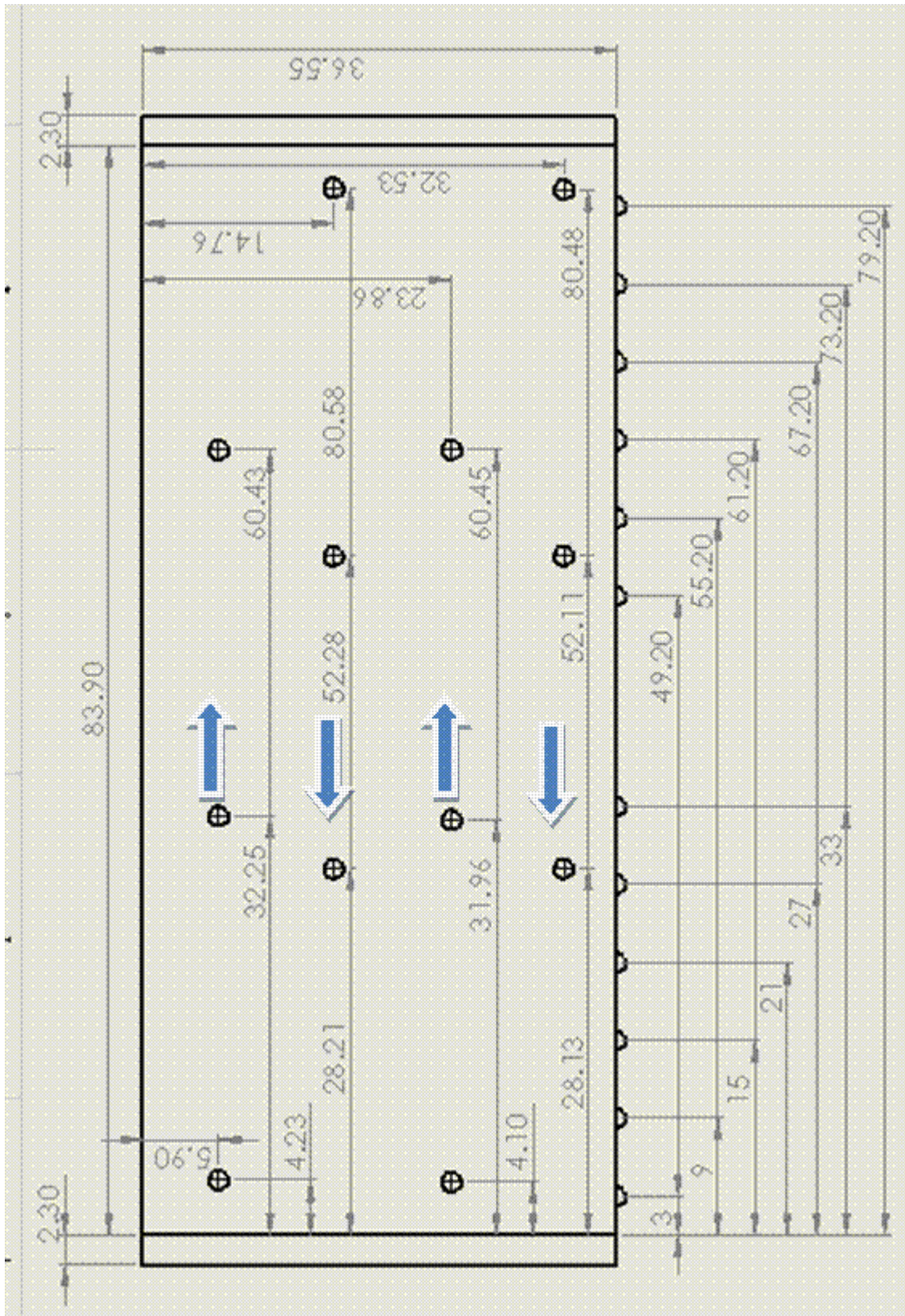
המדידות החלו בתחילת מרץ והסתיימו באמצע יולי 2013.

2.1 מעקב אחרי השפעת שיטת האוורור על הצמחים

כחלק מניטור תנאי האקלים בחממת סייפן אשר בה הוכנסה מערכת אוורור המופעלת בעזרת ווסתי תדר, נבחנו גם מזרעי גידול על מנת לזהות את השפעות שיטת האוורור על הצמחים. השתילים גודלו במגשים על שולחנות גידול (תצלום 7) לטובת הבדיקות נבדקו זנים שונים במגשים מסוג "סופה" כשבכל מגש 406 תאים בנפח 1200 כל תא, הזנים הנ"ל מאופיינים כזנים מרובי זרעים (בשלב הזריעה) כלומר זמן קצר אחרי הנביטה זנים אלו מאופיינים בעלווה מאוד צפופה במגש. בנוסף, זנים אלו ידועים כרגישים למחלות עלווה בתנאי לחות גבוהים. הזנים שנזרעו הם: רוקולה, בזיל, אזוב. כל זן נפרס בחממה מסביב לנקודת הדיגום של טמפרטורת ולחות האוויר (ראה תצלום 4). סה"כ הועמדו 20 מגשים של 406 צמחים בכל מגש סביב כל נקודה בה נמדדה טמפרטורה ולחות האוויר. בנוסף הועמדו 20 מגשים סביב כל נקודה בה נמדדה מהירות האוויר. סה"כ היו בחממה שתי נקודות בהן נמדדה טמפרטורת האוויר והלחות ושתי נקודות בהן נמדדה מהירות האוויר כך שסה"כ כמות הצמחים בחממה שנבחנו בכל פריסה, הראשונה השנייה והשלישית (ראה טבלה 1) היו 32480. בפריסה הרביעית והחמישית הועמדו מגשים רק ליד הנקודות בהן נמדדה טמפרטורת האוויר והלחות מאחר ומדידי מהירות האוויר הוצאו מהחממה בשל תקלה. סה"כ הצמחים שהיו בכל פריסה (רביעית וחמישית) היו 16240. הפרמטרים שנבדקו היו: 1. קצב גידול; 2. התעבות על השתילים בבוקר; 3. הופעת מחלות.

טבלה 1. פירוט הניסויים עם צמחים שונים לבחינת השפעת שיטת האוורור על השתילים.

תאריך פריסה בחממה	סוג הגידול
28.3.13	רוקולה
20.4.13	בזיל רד רובין
10.5.13	רוקולה
10.6.13	בזיל פרי
7.7.13	בזיל פרי



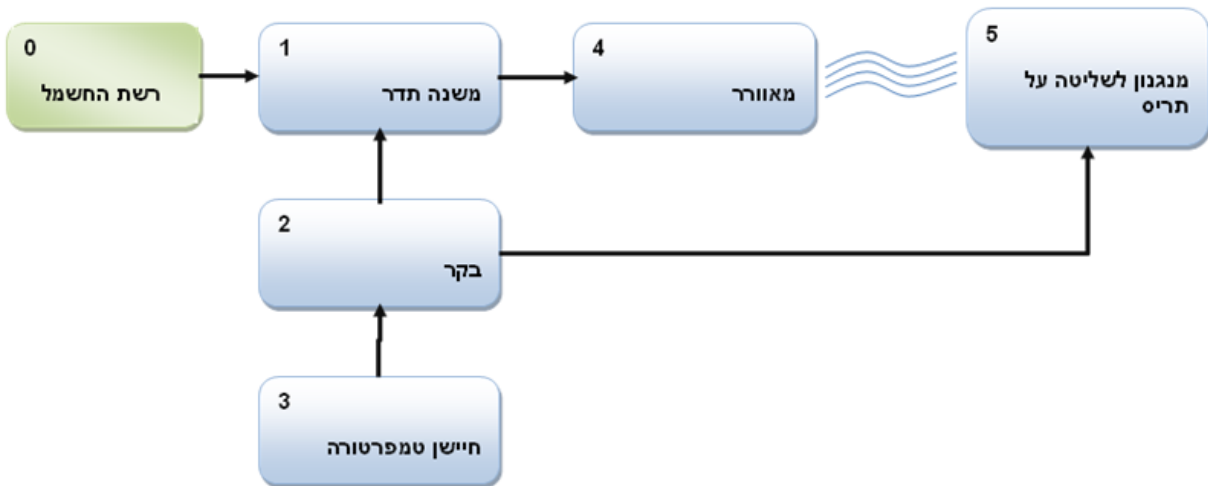
איור 3. מידות החממה ומבט על של מיקום המאווררים והמסחררים במבנה. החיצים מתארים כוון תנועת האוויר בחממה כתוצאה מפעולת המסחררים.

2.2 מנגנון פתיחת תריסי מאווררים

אחת הבעיות בהן נתקלים בניסיון ליישם אוורור הדרגתי היא פתיחת תריסי המאוורר במהירות סיבוב נמוכה. כיום כל המאווררים מצוידים בתריסים אשר נפתחים כשהמאוורר מתחיל לפעול. פתיחת התריסים מבוססת על כוחות צנטריפוגליים שמפעיל מנגנון כתוצאה מהתנועה הסיבובית סביב ציר המאוורר. כאשר המאוורר מסתובב במהירות נומינלית אין שום בעיה לפתוח את התריסים כי מהירות הסיבוב גבוהה והכוחות מספיק חזקים. לעומת זאת, כאשר מחברים מאוורר לרשת החשמל דרך ווסת תדר ומפעילים אותו במהירות סיבוב נמוכה בהרבה מהמהירות הנומינלית ייתכן מצב בו הכוחות הצנטריפוגליים יהיו קטנים מכדי לאפשר פתיחת התריס.

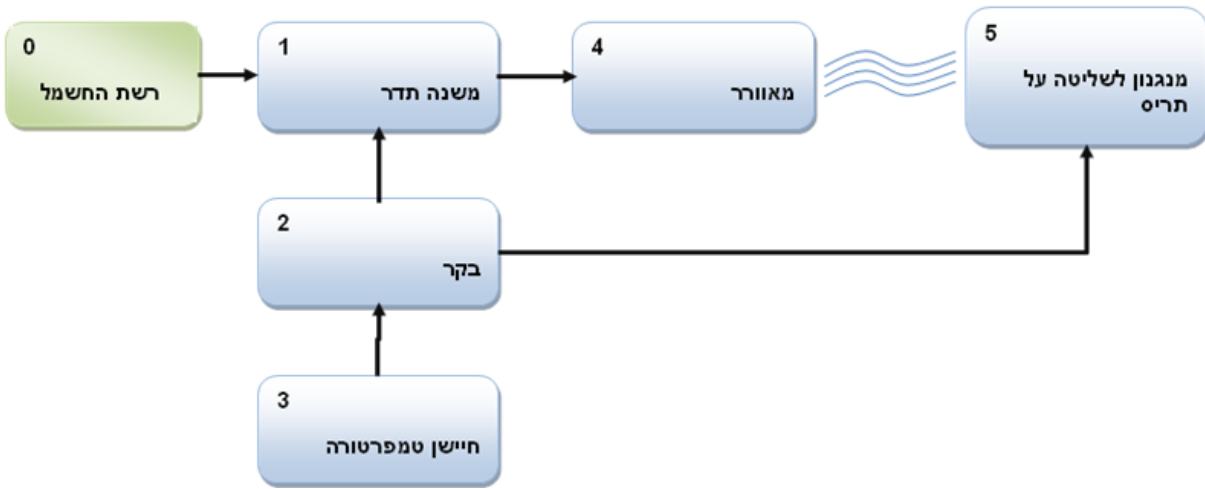
ישנן מספר דרכים להתגבר על הבעיה שחלקן נוסו במסגרת העבודה הנוכחית. האפשרויות הקיימות הן: (1) הגדלת המשקולות במנגנון המפעיל את הכח הצנטריפוגלי, (2) שימוש באלקטרומוגנט למשיכת התריסים ופתיחה שלהם (3) שימוש בבוכנה חשמלית הדוחפת את התריסים ופותחת אותם (4) הפעלת המאוורר במהירות גבוהה (המאפשרת פתיחת התריס) לפרק זמן קצר ביותר ולאחר מכן ירידה למהירות סיבוב נמוכה יותר כפי שנדרש ע"י הבקר. בעבודה הנוכחית נוסו אפשרויות 1, 3 ו 4. להלן פרוט על אפשרות 3 שנבחנה ביתר פרוט.

2.2.1 שימוש בבוכנה חשמלית הדוחפת את התריסים ופותחת אותן



איור 4. סכימה עקרונית למערכת הבקרה על הפעלת המאווררים והתריסים של המאווררים.

מבנה המערכת, הסבר על פעולתה ותאור ממשקיה:



מילון ממשקים

מס'	ממשק	אות
1-2	פקודה לפתיחה או סגירת התריסים.	0 V עבור סגירה. 5 V עבור פתיחה.
5-2	מצב הבוכנה החשמלית (מבחינת אורך).	מתח הנקבע ע"י הפוטנציומטר שבבוכנה החשמלית. פרופורציוני לאורך הבוכנה. אנו נקבע את ערכי הקצה.
2-3	פקודה להפעלת הבוכנה בהתאם להפרש בין מצבה הנוכחי למצב הרצוי.	אות חשמלי אנלוגי/PWM בעל זרם חלש.
4-5	כוח להפעלת המנוע החשמלי	זרם חשמלי הנחוץ להפעלת המנוע של הבוכנה החשמלית.
3-4	כוח להפעלת הבוכנה	זרם חשמלי הנחוץ להפעלת המנוע של הבוכנה החשמלית.

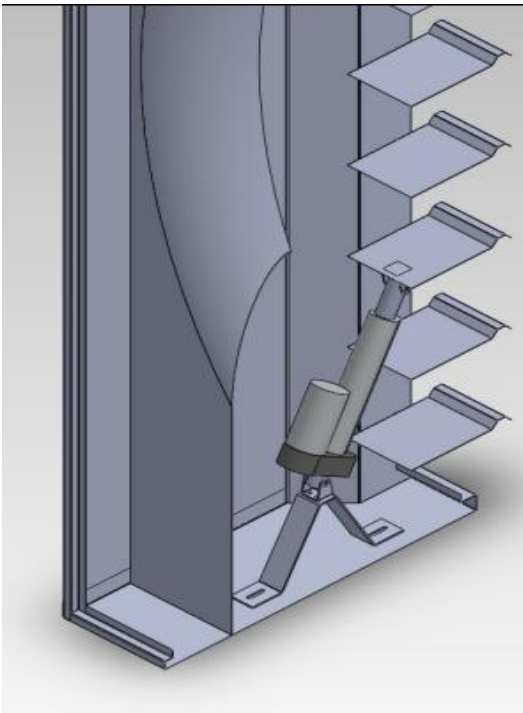
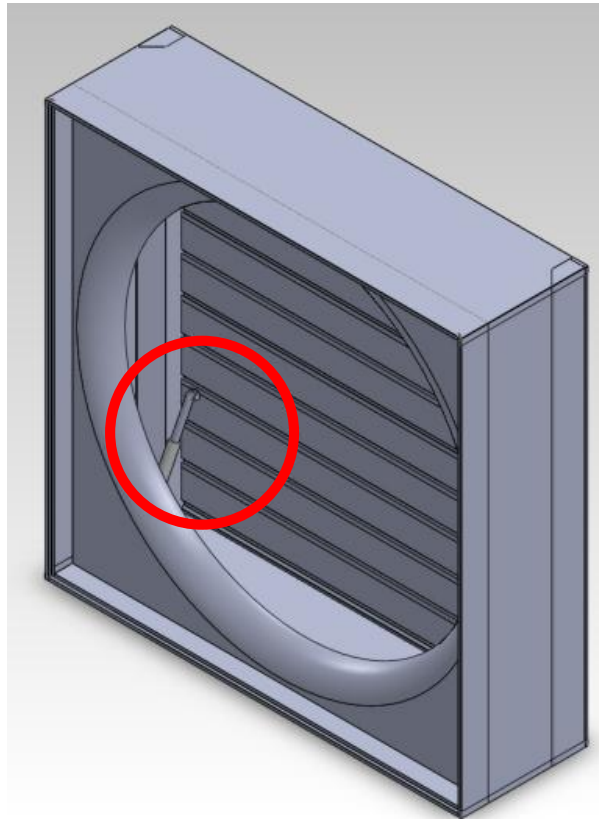
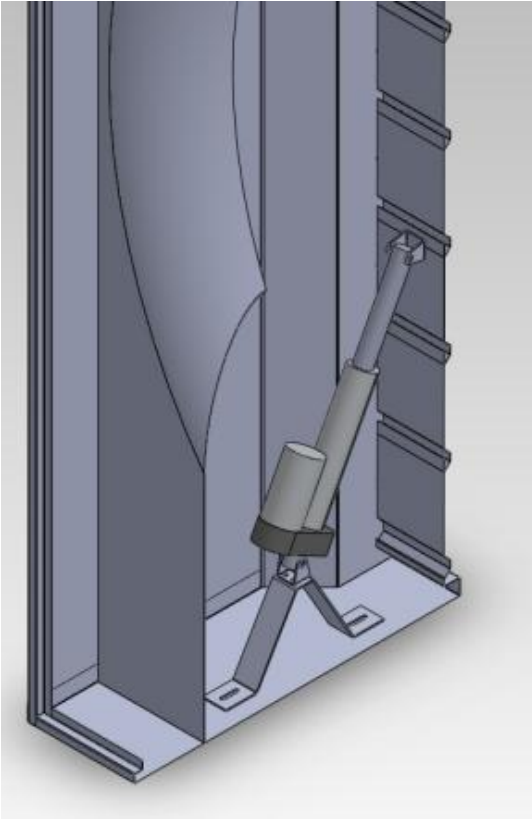
לאחר בניית מודל מפורט ב-Solidworks, חושב כי דרושה בוכנה בעלת טווח תנועה של 100 מ"מ.

הבוכנה שנבחרה לבניית אב-טיפוס הינה מדגם SIMD3-24-30-A100-P65.

נתונים

- טווח תנועה : 100 מ"מ
- מתח הפעלה: 24 V
- זרם מקסימלי: 1.8 A
- עומס מקסימלי: 752 N
- פוטנציומטר: 10 K Ω
- הגנה מתנאי סביבה: IP65

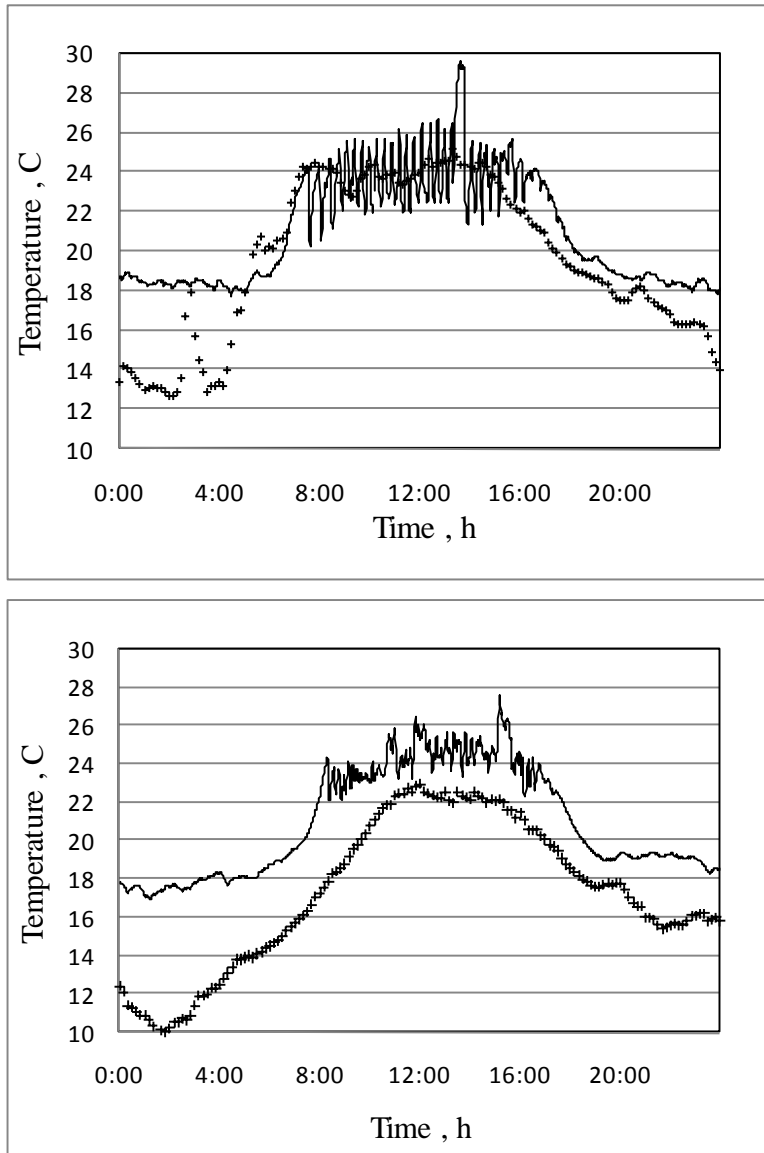
תמונות להמחשת מיקום הבוכנה ופעולתה



איור 5. תיאור סכימטי של מנגנון פתיחת תריס מאוורר.

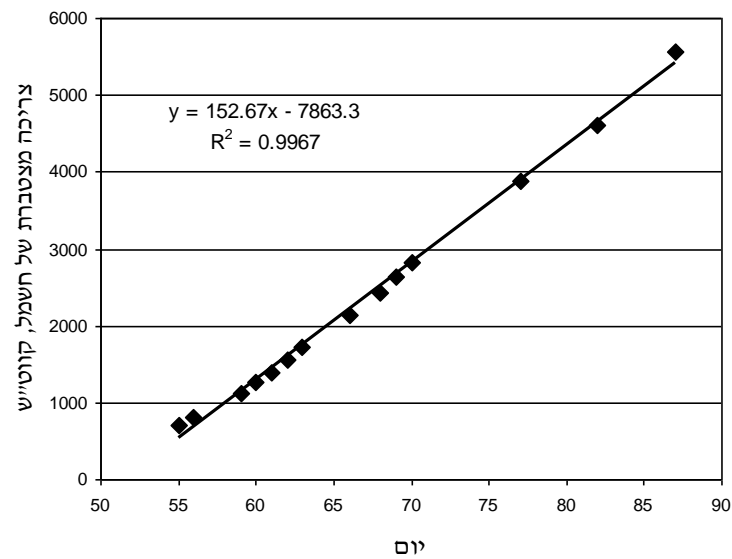
3. תוצאות

מהלך יומי של טמפרטורת האוויר בחממה בשתי שיטות הבקרה ON_OFF ואוורור הדרגתי מוצג באיור 6. האיור מראה תוצאות שנמדדו ביום אופייני בו הדרישה לאוורור לא הייתה גבוהה וכתוצאה מכך המאווררים פעלו לסירוגין כאשר הבקרה הייתה ON_OFF. אפשר לראות בברור את התנודות החזקות בטמפרטורת האוויר כתוצאה מהפעולה וההפסקה לסירוגין של המאווררים. במוצע במהלך היום התנודות בטמפרטורה היו בעלות משרעת שיא לשיא של כ 4 מעלות. באוורור הדרגתי היו התנודות בטמפרטורת האוויר קטנות יותר ובדרך כלל בעלות משרעת שיא לשיא קטנה מ 2 מעלות.

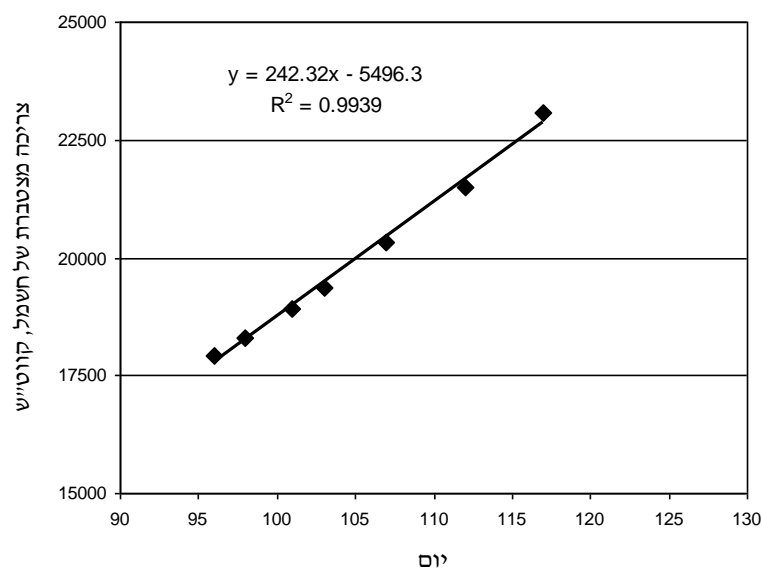


איור 6. מהלך יומי של טמפרטורת אוויר בתוך החממה. האיור העליון והתחתון מראים את הטמפרטורה כשהבקרה היא ON_OFF (8 אפריל 2103) ואוורור הדרגתי (12 אפריל 2013) בהתאמה. קו מייצג טמפרטורת אוויר בחממה והסימנים + מייצגים טמפרטורת אוויר מחוץ לחממה.

לתקופה בה המאוררים עבדו בשיטת ON_OFF. מהאירוס ברור שצריכת החשמל הממוצעת ליום באורור הדרגתי, כ 153 קוואט"ש, הייתה נמוכה משמעותית מהצריכה בה המאוררים עבדו בשיטת ON_OFF, כ 242 קוואט"ש. יש לציין יחד עם זאת שהאקלים החיצוני בשתי התקופות לא היה זהה. בתקופה בה המאוררים עבדו באורור הדרגתי הטמפרטורה היומית הממוצעת מחוץ לחממה הייתה 28.1 מעלות בעוד כשהמאוררים עבדו בשיטת ON_OFF, הטמפרטורה היומית הממוצעת הייתה 29.4 מעלות. סביר להניח שהעובדה שהיה חם יותר מחוץ לחממה תרמה לצריכת חשמל גבוהה יותר לצרכי אורור. עם זאת, בתקופה החמה יותר הופעל מזרון לח בעוד שבתקופה שבה הופעל אורור הדרגתי המזרון הלח לא פעל בכל הימים. ההפעלה של המזרון הלח תורמת לירידת טמפרטורה מהירה יותר לתחום הטמפרטורת הרצוי.

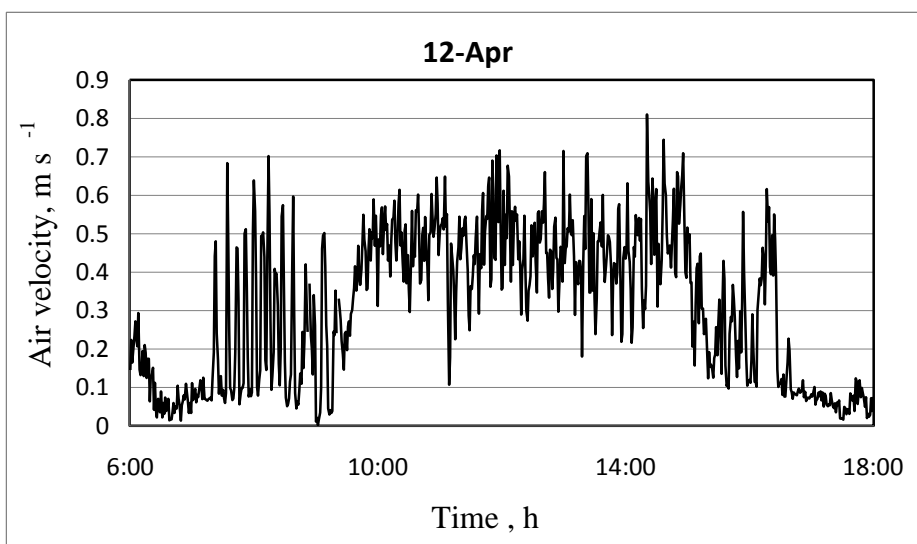
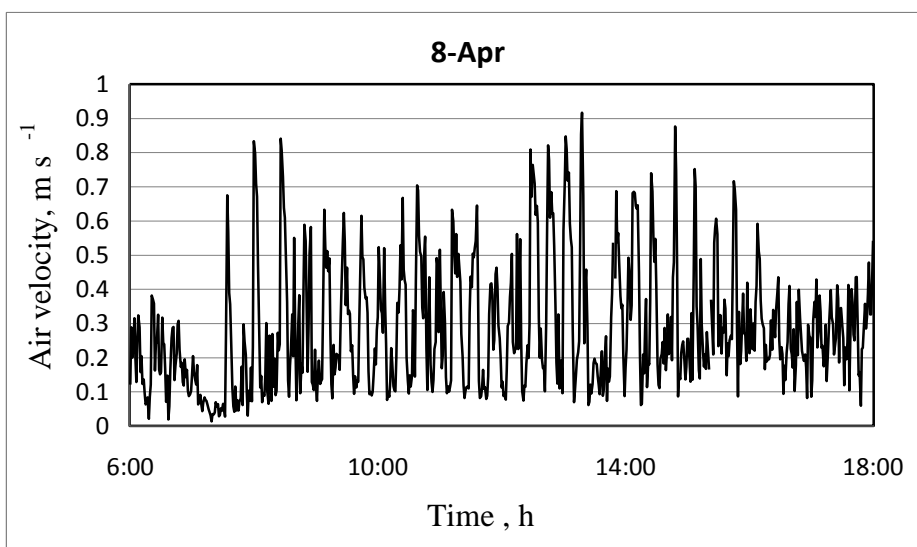


איור 8. צריכת חשמל מצטברת לתקופה 24/אפריל - 26/מאי. שיפוע הקו מייצג צריכה ממוצעת ליום. בתקופה זו המאוררים עבדו בשיטת אורור הדרגתי.



איור 9. צריכת חשמל מצטברת לתקופה 4/יוני - 25/יוני. שיפע הקו מייצג צריכה ממוצעת ליום. בתקופה זו המאווררים עבדו בשיטת ON_OFF.

מהירות האוויר כפי שנמדדה בגובה השתילים שהיו מונחים במגשים על שולחנות הגידול מוצגת באיור 10. האיור מראה שמהירות האוויר המקסימלית במבנה היא כ-0.9 מ/ש. מהאיור נראה ששך כל הזמן שבו מהירות האוויר בחממה היתה גבוהה מ-0.6 מ/ש היה יותר באזור ON_OFF בהשוואה לאזור הדרגתי. יחד עם זאת בולט מאוד שבועד שבאזור ON_OFF היו תקופות רבות במשך היום בהן המהירות היתה כ-0.1 מ/ש (בזמן שהמאווררים לא פעלו) באזור הדרגתי בחלק גדול מהיום המהירות לא ירדה אל מתחת ל-0.3 מ/ש. ההתנהגות הזו צפויה שכן באזור הדרגתי המאווררים לא הפסיקו להסתובב לאורך כל היום ושמרו על זרימת אוויר בסמוך לצמחיה לאורך כל היום.



איור 10. מהירות אוויר בגובה הצמחים. גרף עליון ותחתון מייצגים הפעלת OFF_ON ואזור הדרגתי בהתאמה. מבדיקת הפרמטרים הצמחיים: 1. קצב גידול; 2. התעבות על השתילים בבוקר; 3. הופעת מחלות, עולה כי אין הבדל משמעותי בין שיטות האזור שנבחנו. טבלה 2 מסכמת את התוצאות.

טבלה 2. תוצאות ההשפעה של שיטת האוורור על השתילים.

סוג הגידול	תאריך פריסה בחממה	קצב גידול	התעבות על השתילים	הופעת מחלות
רוקולה	28.3.13	תקין	אין	אין
בזיל רד רובין	20.4.13	תקין	אין	אין
רוקולה	10.5.13	תקין	אין	אין
בזיל פרי	10.6.13	תקין	אין	אין
בזיל פרי	7.7.13	תקין	אין	אין

4. תצלומים



תצלום 1. מבנה החממה מבחוץ, בתמונה 6 מאווררים מכלל 12 המאווררים שפעלו בחממה.



תצלום 2. מבט על המאווררים שבקיר המזרחי. התמונה מראה גם את המסחררים שהותקנו בחממה.



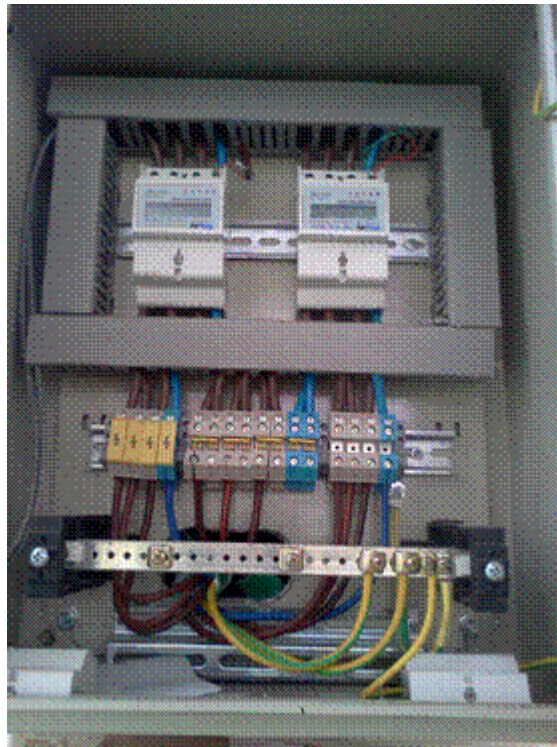
תצלום 3. ארון ווסתי התדר (מצד ימין) וארון מערכת הבקרה עם בקר גלילאו (מצד שמאל).



תצלום 4. מדידת טמפרטורה ולחות באזור הגידול. צמד תרמוקפלים לח, יבש הוּשמו ביחידה מאווררת מוגנת מקרינת שמש ישירה והונחו על שולחנות הגידול שבחממה.



תצלום 5. יחידה למדידת טמפרטורת לח ויבש מודדת בגובה כ 1 מטר מעל שולחנות הגידול. יחידה זו חוברה לבקר.



תצלום 6. מוני חשמל בעלי יציאה אנלוגית שחוברו לאוגר נתונים לשם דגימה רציפה של צריכת החשמל בחממה.



תצלום 7. שתילים במגשים על שולחנות הגידול. מראה כללי של החממה מבפנים.

הבעת תודה: תודה לאלון וולך וגיל מנקין ממשלת חישתיל ולפבלו איבנז על שיתוף הפעולה הפורה ועל העבודה הרבה שהשקיעו בפרוייקט זה.

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.
מטרות המחקר הינם: (1) ליישם ולעודד יישום נרחב של תוצאות שהתקבלו במחקר תשתיתי קודם שעסק בפיתוח מערכת אוורור הדרגתי (מערכת המשנה את מהירות סיבוב המאווררים בהתאם לעומס החום במבנה בעזרת ווסתי תדר); (2) להראות שהמערכת מסוגלת למתן בצורה משמעותית את השינויים החדים במיקרואקלים שבסביבת הצמח ובו זמנית לחסוך באנרגיה הדרושה להפעלת מאווררים.
עיקרי התוצאות.
ניתן להפעיל אוורור וסחרור הדרגתיים ע"י ווסתי תדר, תוך שימוש במאווררים ומסחררים סטנדרטיים ומקובלים של חממה. נבחנו מספר דרכים לפתיחת תריסי המאווררים כשהם מסתובבים לאט באוורור הדרגתי ונמצא שהפעלת המאווררים במהירות גבוהה לפרק זמן קצר מאוד (המאפשר פתיחת התריס) ולאחר מכן ירידה למהירות סיבוב נמוכה יותר הנדרשת עפ"י הבקר היא השיטה הזולה ביותר. חיבור המאווררים והמסחררים בקבוצות למספר ווסתי תדר הוא ייתרון המאפשר גמישות הפעלה מירבית של המאווררים והמסחררים. בתקופה בה בוצעו מירב הניסויים (עונת הקיץ) נמצא שהחיסכון באנרגיה מתבטא בשעות הבוקר והערב בלבד. בשאר שעות היום היה חם מאוד ונדרשה הפעלת מאווררים במהירות מקסימאלית לאורך חלק גדול מהיום כך שלא היה ייתרון משמעותי לאוורור הדרגתי. בהפעלה שנעשתה בעונת האביב נמצא חיסכון רב יותר בחשמל.
מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדו"ח?
אוורור הדרגתי ממתן תנודות בטמפרטורה ובמהירות של האוויר בסביבת הצמח בהשוואה להפעלת ON_OFF. נראה כי מבחינת השתילים לא היה הבדל בפרמטרים שנבדקו (1. קצב גידול; 2. התעבות על השתילים בבוקר; 3. הופעת מחלות) בין שיטות הבקרה שנבחנו. בעונות הביניים של השנה ניתן לחסוך חשמל באוורור הדרגתי בעוד שבעונת הקיץ החמה החיסכון קטן בהרבה.
בעיות שנוותרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך
לא נותרו בעיות לפתרון ולא נעשו שינויים טכנולוגיים משמעותיים במהלך העבודה. עבודת המחקר נעשתה במסגרת קול קורא להגשת הצעות בוחן לבדיקת הטמעה יישומית של יידע שנוצר במחקר תשתיתי. רצוי לעקוב אחר פעולת המערכת לאורך מספר שנים ולתעד את צריכת האנרגיה וההשפעה על הגידול בעונות השונות של השנה ולהשוות עם מצב בו המאווררים והמסחררים מבוקרים ON_OFF.
הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב - ציטט ביבליוגרפי כמקובל בפרסום מאמר מדעי;
המחקר הסתיים לפני זמן קצר מאוד ועדיין לא פורסמו התוצאות.
פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)
⏪ ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט) X
⏪ חסוי – לא לפרסום: יש לצרף אישור ומידע ממוסד המחקר
האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן* - לא מתכוון להגיש תוכנית המשך