

## מערכות חוסכות אנרגיה בחממות - תחנת יאיר 2008/9

שבתאי כהן, רבקה אופנבך, דורית חשמונאי, דודו אלקיים, אבי אושרוביץ, אריאל יפה - מו"פ ערבה  
תיכונה וצפונית  
גד אסף, משה מרוקו - חברת אגם

### תקציר

על מנת לאפשר לחקלאות בערבה להמשיך ולהתקיים כחקלאות משגשגת, על רקע התהפוכות הגלובליות הכלכליות והאקלימיות, יש לדאוג להגנה מתאימה יותר על הגידולים מפני פגעי מזג האוויר, באמצעים טכנולוגיים מתקדמים ויצירתיים, המאפשרים הנבה רציפה ויציבה אופטימיזציה של יכולת ההנבה ליחידת שטח, תוך כדי העלאת איכות הפרי או כל מוצר חקלאי המתקבל מיחידת הגידול. **מטרות** - בחינה והשוואה של שיטות אשר יאפשרו חיסכון באנרגיה באמצעות מערכות משולבות המאפשרות שיפור בתנאי הגידול באמצעות חימום והקטנת **הלחות היחסית** בחלל מבני הגידול בהשוואה לשיטות הקונבנציונליות המשמשות כיום.

הניסויים נערכו בעונת הגידול 2008/9 בתחנת הניסויים יאיר. בארבעה בתי צמיחה בגודל של כ-900 מ"ר לכל מבנה נבחנו הטכנולוגיות הבאות: (1) חממת ביקורת מחופה בפלסטיק וסגורה בהיקפה ברשת 50 מש. (2) חממה המצוידת במסך תרמי בלבד המסך בנוי מיריעה רפלקטיבית אטומה ומטילה צל של 50%. (3) חממה מצוידת במסך תרמי ובמערכת אגם. מערכת זו מבוססת על ממיר חום המסוגל להוריד את הלחות היחסית בחממה ולספק אנרגיה נוספת הנדרשת לחימום. יחידת מערכת אגם מבוססת על שאיבת אוויר החממה הלח לתוך תמיסת מלח מרוכזת ביותר הזורמת בתוך מטריצה. הלחות באוויר נשאבת למתקן המעבה המשחרר את החום הכמוס מהאוויר הלח לתוך תמיסת המלח, התמיסה מתחממת ומשחררת לאוויר החממה אוויר יבש וחם. (4) חממה המצוידת במערכת חימום מים תנור חימום בהספק של 150,000 קילו קלוריות הכולל מחליפי חום מעולעלים המבוססים על זרימת מים חמים בצנרת מתכת, התנור מוסק ע"י גז. גם במבנה זה הותקנה מסך תרמי כמתואר בטיפולי טכנולוגיה 3 ו-2. בחממות המחוממות הותקן "קלורמטר" לבדיקת צריכת האנרגיה בחממות. בחממות נשתל (5.8.08) פלפל מהזנים, סליקה (אפעל), 7158, 7182 (זרעים גדרה). במהלך הניסוי אחת לשבוע נערכה בדיקה ידנית של טמפרטורת 2 פירות בכל מבנה והערכת לחות פני הפרי, הפרי היה פרי ירוק המתקרב לגודלו הסופי. הבדיקה נערכה לפני גלילת המסכים בדרך כלל ב-6<sup>45</sup> עד 7<sup>00</sup> בבוקר ולאחר מכן כל שעה במשך 3 שעות. בדיקת הלחות על פני הפרי נבדקה באופן ידני והוגדרו לה ארבע דרגות: פרי יבש, לח, רטוב ורטוב מאוד. המסך התרמי שיפר את מאזן הטמפרטורה הלילי והוסיף בממוצע כ-2 עד 3.5 מ"צ במהלך הלילה, ללא תוספת אנרגיה ממקור חיצוני (מלאכותי). לתרומה זו מתלווה תוספת לחות למבנה המעלה את רמת הסדקים בפירות הפלפל. מערכת אגם הגיעה לחיסכון אנרגטי של כ-60 אחוזים בממוצע לעומת מערכת חימום מקבילה המשתמשת לחימום החממה במים חמים, שתי המערכות עשו שימוש במערכת מסך תרמי. הלחות היחסית במבנה המחומם ע"י מערכת אגם נמוכה יותר לעומת מערכת חימום קונבנציונלית המחממת את המבנה באמצעות מים חמים. הפרש זה יעלה ככול שרמת האטימה של המבנה תהיה גבוהה יותר. הזן סליקה הוא הסביל יותר לבעיית הסדקים והזן 7182 הרגיש יותר לתופעת הסדקים מבין הזנים אשר נבחנו. רמת הסדקים הגבוהה יותר התקבלה בחממת המסך התרמי וזאת בהתאמה לבדיקת הרטיבות הפרי והלחות הגבוהה במבנה זה, לעומת המבנים האחרים. מוצע לבדוק את מערכות החימום לעונה נוספת על מנת לאפיין את פיזור החום והלחות בשיטות החימום השונות, ובמקרה של חורף קר יותר את רמת הביצועים של כל מערכת בתנאים של חורף פחות אביבי מהשנה הנוכחית.

## רקע

בשנים האחרונות מורגשים שינויים אקלימיים משמעותיים בעולם כולו המאופייין בחוסר יציבות אקלימית, אחת הדוגמאות היא אירוע הקרה אשר התרחש בישראל במהלך ינואר 2008 (אירוע דומה בעוצמתו התרחש בערבה בשנת 1973): במשך עשרה לילות בינואר 2008 התרחש אירוע קרה קיצוני אשר גרם לנזקים גדולים בענפי החקלאות השונים. הקרה פגעה באזורים נמוכים וחסומים לזרימת אויר, וכן באזורים גבוהים יחסית ובכלל אזורי הארץ: עמקי הצפון, הגליל המערבי, עמק חפר, השרון, שפלת יהודה, הנגב, בקעת הירדן והערבה. הנזקים נגרמו כתוצאה מהטמפרטורות הנמוכות, והזמן הממושך אשר שהו מתחת לאפס מעלות צלסיוס. הגידולים אשר ניזוקו ביותר מאירוע הקרה היו במבני רשת אשר ההגנה התרמית שלהם בפני אירועי אקלים קיצוניים היא נמוכה ביותר לעומת מבנים המחופים פוליאתיילן או במבנים אשר שילבו מסכים תרמיים בתוך מבני החממות.

כיום מעט בתי גידול בערבה מחוממים עקב עלויות החימום הגבוהות ועקב הלחות היחסית הגבוהה בבתי הצמיחה (סגירת המבנה בשעות החימום) כאשר בעקבות כך נוצרות בעיות של מחלות פטרייתיות. (עובש אפור בפלפל, כשותית ועובש אפור בליזיאנטוס וכד'). כמו כן מועצמת בעיית הפרי הסדוק בפלפל אשר מגיב בסדקים בפרי בעקבות הלחות הגבוהה. במיוחד בחודשים פברואר מרץ על רקע של לחות גבוהה, פרי זקן, ומשרע טמפרטורה גדול בין יום ללילה. על מנת לאפשר לחקלאות בערבה להמשיך ולהתקיים כחקלאות משגשגת, על רקע התהפוכות הגלובליות הכלכליות והאקלימיות, יש לדאוג להגנה מתאימה יותר על הגידולים מפני פגעי מזג האוויר, באמצעים טכנולוגיים מתקדמים ויצירתיים, המאפשרים הנבה רציפה ויציבה אופטימיזציה של יכולת ההנבה ליחידת שטח, תוך כדי העלאת איכות הפרי או כל מוצר חקלאי המתקבל מיחידת הגידול.

מטרת הניסוי: בחינה והשוואה של שיטות אשר יאפשרו חיסכון באנרגיה בשימוש במערכות משולבות המאפשרות שיפור בתנאי הגידול, באמצעות חימום והקטנת הלחות היחסית בחלל מבני הגידול בהשוואה לשיטות.

## שיטות

הניסויים נערכו בתחנת "יאיר" (חצבה) בארבעה בתי צמיחה בגודל של כ-900 מ"ר לכל מבנה, אשר כוסו בפלסטיק תרמי המשלב בתוכו תוספים הממתינים את מעבר קרינת IR מתוך חלל המבנה אל החוץ וכמו כן תוסף **Anti fog** המונע את זליגת מי העיבוי (מהיריעה) על הנוף. בכל מבנה הוצבו 2 תאים מאווררים, תאים לחים יבשים, המחוברים למערכת ניטור ובקרת אקלים תוצרת "אלדר" (לחממות מס' סידורי 2,5,3,9). תא אחד הוצב מעל המסך התרמי והשני הוצב מתחת למסך התרמי בגובה אמירי הצמחים במרכז החממה, במבנה הביקורת ללא מסך במבנה 5 הוצב תא אחד בגובה אמירי הצמיחה של הפלפל במרכז המבנה.

במבנים 3,9 (מבנים מחוממים) נבדקה היעילות האנרגטית במבנה באמצעות התקנת "Calorimeter" מערכת זו הותקנה בשני המבנים ב-14 לפברואר על ידי המכון להנדסה חקלאית. הקלורומטר מורכב משעון מים דיגיטאלי, המורכב על צינור המים החמים בין החממה לבין התנור. ושני רגשי טמפרטורה "צמד חומני" A (Thermocouple) ו-B. רגש A מותקן בצינור המים החמים שיוצא מהתנור לחממה. ורגש B מותקן על צינור המים החוזרים מהחממה לתנור. המדידות נרשמו כל 10 דקות בשעות עבודת התנור, ונאגרו באוגר נתונים (Campbell).

חישוב ניצולת אנרגטית: כאשר WM (מונה מים) מודד ספיקת המים במטר מעוקב לשעה ברווח זמן נתון, AT, ו-BT טמפרטורות המים שיוצאים מהתנור וחוזרים מהחממה בהתאמה ברווח זמן נתון, הרי שצריכת האנרגיה מתקבלת כ:

$$I) Q=(TA-T B ) * MW$$

Q נתון כהספק תרמי באלפי קילו קלוריות לשעה. הכפלת Q במקדם 1.16 נותן הספק תרמי בקילוואט. (קילו קלוריות=4180 קילו ג'אול וחלוקה ב 3600 שניות נותנת את המקדם 1.16) מקדם מעבר החום של החממה מחושב על ידי חלוקת ההספק התרמי אשר נכנס לחממה הנמדד על ידי הקלורימטר מחולק לשטח החממה, ומחולק להפרש הטמפרטורות בין פנים החממה לבין החוץ. שטח החממה 900 מטר מרובע אולם בחממה קטנה שטח הקירות היחסי גדול יותר ולכן אנו מעגלים את השטח ל- 1,000 מטר מרובע בשתי החממות). חלוקת ההספק התרמי שניתן בקילוואט בשטח של 1,000 מטר מרובע נותנת את איבוד החום בוואט למטר מרובע. וחלוקה בהפרש הטמפרטורות פנים חוץ נותנת את מקדם המעבר של החום כוואט למטר רבוע למעלה.

במבנים נשתל (5.8.08) פלפל מהזנים סליקה (אפעל), 7182 ו- 7158 (זרעים גדרה). הגמלון המרכזי בכל חממה שימש לאיסוף נתוני יבול ואיכות פרי. במהלך הניסוי נערכו בדיקות פרי בחממות לקביעת טמפרטורת הפרי והערכת לחות פני הפרי כאשר בכל בדיקה נדגמו בכל מבנה שני פירות ירוקים המתקרבים לגודלם הסופי. הבדיקה נערכה בתאריכים הבאים: 25/11/08, 3/12, 8/12, 17/12, 7/1/09, 14/1, 20/1, 11/2, 18/2, 25/2, 3/3, לפני גלילת המסכים בדרך כלל ב-6<sup>45</sup> עד 7<sup>00</sup> בבוקר ולאחר מכן כל שעה במשך 3 שעות. בדיקת הלחות על פני הפרי נבדקה באופן ידני והוגדרו לה ארבע דרגות: פרי יבש, לח, רטוב ורטוב מאוד. טמפרטורת הפרי נבדקה באמצעות טרמומטר IR בעל כוונת לייזר המאפשר למקד את הקריאה באזור הנדרש המכשיר כוייל מול מצלמה תרמית מתוצרת Fluke ומידי פעם כוייל מול כוס המכילה מי קרח.

המערכות אשר נבחנו היו כדלהלן:

#### **א' חממה מס' 5**

בקורת המדמה בית צמיחה בסיסי אופייני בערבה, מבנה ללא וילונות. המחופה ביריעת פלסטיק בגג המבנה ובהיקף כיסוי ברשת 50 מש למניעת חדירת חרקים.

#### **ב' חממה מס' 2**

#### **תקרה זחיחה (מסך תרמי)**

1. תיקרה זו מונחת בחלק העליון של המבנה מתחת לכיסוי החיצוני היא עשויה מיריעה רפלקטיבית אטומה וגמישה הניתנת לפריסה ודחיסה בעלת 50% צל. כמו כן הותקנו וילונות פנימיים מחומר זה למסך התקרה הזחיחה אשר נפרסו בעת הפעלת המערכת ונגללו עם סיום ההפעלה, בניגוד למסך העליון אשר פוקד באמצעות מחשב הוילונות הפנימיים נגללו ונפרסו ידנית בשעת התפעול. זמן פריסה וגלילת המסכים נקבע אחת לשבוע באמצעות סף קרינה אשר נתקבל ממד קרינה גלובלית חיצונית הערך עמד על 100 ואט/מ"ר לפריסה וגלילה של המסך.

2. ליריעה זו התנגדות גבוהה למעבר חום ואטומה לתנועת אוויר ועל ידי כך נמנעת התעבות אדי מים על יריעת הכיסוי החיצוני ומונעת בצורה משמעותית את "בריחת החום" מתוך החממה כי מי העיבוי יוצרים הולכת חום מעולה לחלל מחוץ לחממה וע"י כך איבודי חום משמעותיים ובזבוז אנרגיה גדול במיוחד.

3. שימוש ביריעה אטומה עלול לגרום לעליה ברמת הלחות במבנה באזור גידול הצמחים מכיוון שהוא מקטין משמעותית התעבות המים העודפים על כיסוי המבנה ולכך יש חיסרון כאשר אין משולבת במבנה טכנולוגיה ליבוש.

4. המבנים צוידו בוילונות כפולים בהיקף המבנה על מנת להקטין ככל האפשר איבוד חום מהמבנים.
5. בעבודות ובתצפיות שבוצעו בשנה שחלפה בתנאי מעבדה ובשטחים מסחריים, נמצא שמסכים תרמיים אטומים חוסכים בין 50-65% מהוצאות החימום בבתי צמיחה מחוממים.
6. מניסיון העבר מסכים תרמיים בחממות לא מחוממות שמרו על הפרשי טמפרטורה של 2-4 מעלות בהשוואה לביקורת. ככל שהפרש הטמפרטורה בין הפנים לחוץ היה גדול יותר - כך תרומתו של המסך הייתה רבה יותר.
7. יריעת המסך הותקנה באופן אשר יאפשר חפיפה בין המסכים ואטימה טובה. אי חפיפה בין יריעות המסך תקטין את יעילות המסך באופן ניכר.

### ג' חממה מס' 3

מערכת אגם מבוססת על ממיר חום המסוגל להוריד את הלחות היחסית בחממה ולספק אנרגיה נוספת הנדרשת לחימום, יחידת מערכת אגם מבוססת על שאיבת אוויר החממה הלח לתוך תמיסת מלח מרוכזת ביותר הזורמת בתוך מטריצה. הלחות באוויר נשאבת למתקן המעבה המשחרר את החום הכמוס מהאוויר הלח לתוך תמיסת המלח, התמיסה מתחממת ומשחררת לאוויר החממה אויר יבש וחם. המערכת נקראת מחכ"ם (ממיר חום כמוס מאוורר).



במבנה זה הותקן מסך תרמי והופעל בהתאם למפורט בסעיף ב' חלק מהמערכת מבוסס על תנור בהספק של 50,000 קילו קלוריות אשר מאפשר את שיחזור תמיסת המלח ומניעת דילולה בעקבות קליטת הלחות מהאוויר. חם התנור גורם לחימום התמיסה שזורמת בתוך "מגדל תמיסה חמה" כנגד זרם אוויר. האוויר קולט את האדים מהתמיסה החמה ועובר לאחר מכן למגדל מים מקוררים. האדים באוויר החם מתעבים על המים המקוררים הגורמים לחימום המים. המים המחוממים עוברים דרך רדיאטור ומוסרים את החם שקלטו מהתמיסה החמה לאוויר החממה שעובר דרך הרדיאטור. כך עובר אוויר החממה חימום כפול: פעם הוא מתחמם מהתמיסה שסופגת את הלחות והופכת את החם הכמוס לחם מוחשי. לאחר מכן האוויר המיובש והמחומם בשלב ראשון, עובר בשלב שני דרך רדיאטור וקולט את החום מהתנור שנמסר לתמיסה וממנה למים המחוממים. התנור הופעל באמצעות גז, הולכת החום בחממה מתבצעת באמצעות מאווררים הנמצאים באופן מובנה בתוך מתקן הייבוש.

### ד' חממה מס' 9

בחממה זו הותקן תנור חימום בהספק של 150,000 קילו קלוריות הכוללים מחליפי חום מעלעלים, (לשיפור פיזור החום) המבוססים על זרימת מים חמים בצנרת מתכת, התנור מוסק ע"י גז. גם במבנה זה הותקנה תקרה זחיחה ווילונות כפולים כמותקן במבנים 3 ו-2.

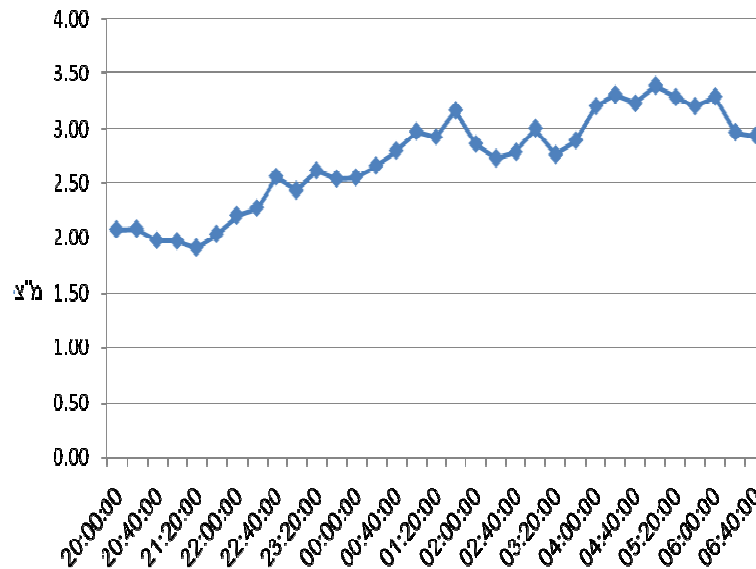
## תוצאות

### תקרה זחיחה (מסך תרמי)

המסך התרמי שיפר את מאזן הטמפרטורה הלילי והוסיף בממוצע כ-2 עד 3.5 מ"צ במהלך הלילה, ללא תוספת אנרגיה ממקור חיצוני (מלאכותי) (איור 1). אלא מעצם המניעה של חלק מקרינת ה-IR להיפלט מן החממה. הפרש הטמפרטורה בין החלל מתחת למסך ומעל המסך מגיע לעיתים ללמעלה מ-5 מ"צ יותר מתחת למסך נתונים המוכיחים את יעילות המסך במניעת בריחת החום מהמבנה. תוספת טמפרטורה זו

בגידול הפלפל אין בה כדי לשפר את היבול המתקבל כי ברוב המקרים גם באזור חצבה החם יחסית טמפרטורה זו נמוכה ב-5 עד 7 מ"צ מתחת לרצוי לחנטה אופטימאלית. היתרון העיקרי בשימוש במסך תרמי באזור יבוא לידי ביטוי משמעותי בלילות קרה במניעת נזקי צינה וקפיאה ובמקרה זה הפרש הטמפרטורות בין פנים המבנה לחוץ עשוי להיות גבוה.

הפרי בטיפול זה היה לח באופן משמעותי משאר הטיפולים איור 8. הלחות על הפרי הצטברה במיוחד בשעתיים הראשונות לאחר גלילת המסך, בשעות הבוקר. לפני גלילת המסך הפרי היה יבש וזהה לשאר הטיפולים המחוממים וההפרש ברטיבות החל לאחר מכן באופן משמעותי. יתכן כי העיבוי על גג החממה היה משמעותי והרטיבות עקב כך במבנה הייתה גבוהה יותר איור 8.



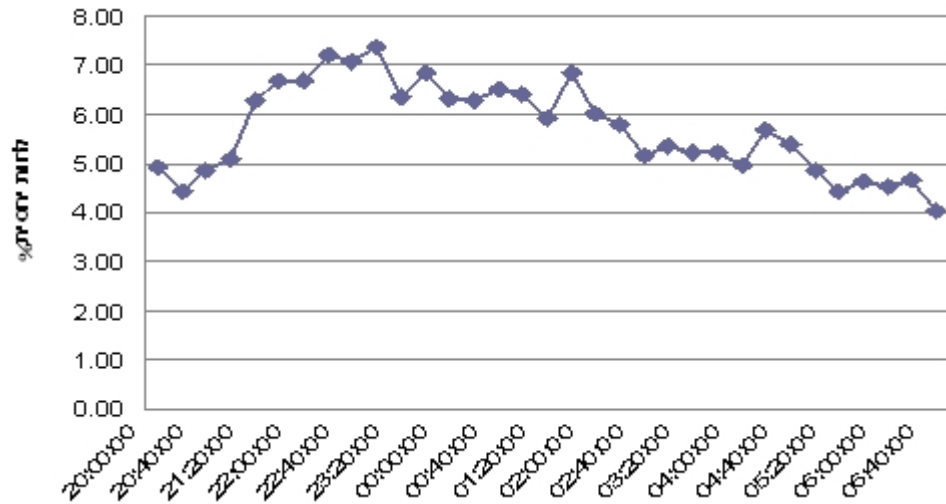
איור 1: ממוצע הפרש טמפרטורות אויר בין מבנה ללא מסך תרמי (חממה 5) לבין חממה עם מסך תרמי (חממה 2) ממוצע לתקופה של 15 ימים בין 15/1 ל15/2 בין השעה 20<sup>00</sup> ל7<sup>00</sup>

## מערכת אגם

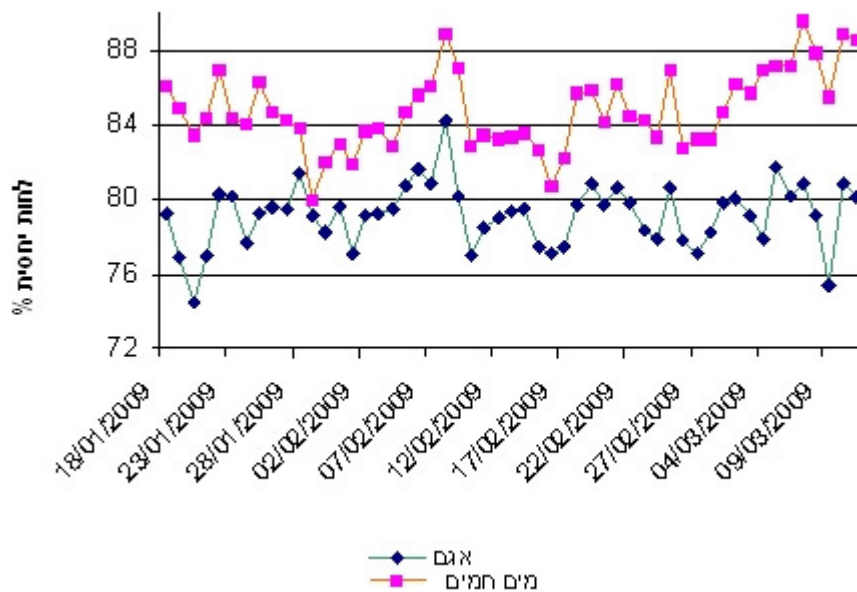
מערכת זו המטפלת הן בנושא הלחות במבנה והן בחיסכון באנרגיה בחימום המבנה, מפזרת את החום לא באמצעות מחליפי חום כמקובל במערכות חימום המבוססות על חימום מים המבוססות על הסעת החום בצורת קרינה אלא בהסעה באמצעות מאוורר המצוי כחלק מובנה ממתקן הייבוש המעביר אויר חם ויבש אל חלל החממה ובצורה זו מצליחה גם לייבש את החלק הפנימי של גג החממה.

גג החממה מעבה עליו שכבת מים במיוחד בשעות הלילה, עקב ההבדל הגדול בטמפרטורה בין פנים החממה החם לחלק החיצוני הבא במגע עם האוויר הקר, שיכבה זו היא אחד הגורמים העיקריים לבריחת חום מתוך המבנה, כי אותה שכבת עיבוי גורמת למעבר חום מצוין במגע אל מחוץ לחממה, ועל ידי כך בריחת אנרגיית החום אל מחוץ למבנה. הפחתת הרטיבות בשכבה זו ע"י מערכת אגם הוא אחד הגורמים המסייעים לחיסכון באנרגיה. המערכת תפקדה ללא תקלות טכניות במהלך כל הניסוי.

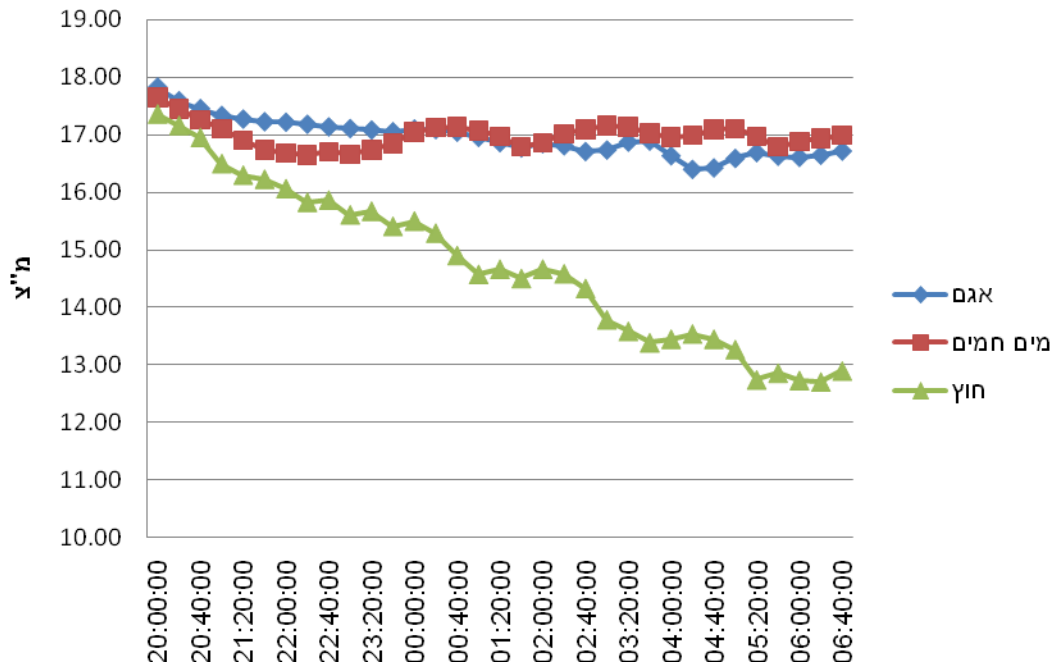
מערכת אגם סייעה בייבוש הלחות במבנה כפי שניתן להבחין באיורים 2 ו 3, עד השעות 2<sup>00</sup> לפנות בוקר פעילות הציוד של אגם מוריד את הלחות ב-6 עד 7 אחוז ומרחיק את האפשרות לקבלת רטיבות על הפרי על ידי התרחקות מנקודת הטל ולכך משמעות רבה כי מים חופשיים הנמצאים על אברי הצמח הם זרז למחלות נוף מוגברות רטיבות.



איור 2: הפרש הלחות היחסית הממוצע לשעות בין מערכת חימום במים חמים (חממה 9) לעומת חממת אגם (חממה 3) נתונים אלו הם נתוני חממת אגם והנתונים מציינים את ההפחתה בלחות היחסית באחוזים בחממה זו לעומת חממה המחוממת בחימום מים בשעות השונות. הנתונים הם ממוצעים של השעות בין 20<sup>00</sup> ל-7<sup>00</sup> בתאריכים הבאים: 19, 23, 27 ינואר, 3, 4, 16, 20, 23, 24, 27, 28 בפברואר. תאריכים אלו נבחרו כי מצב החממות בתאריכים אלו היה זהה מבחינת סטאטוס המסכים (גלילה פריסה).

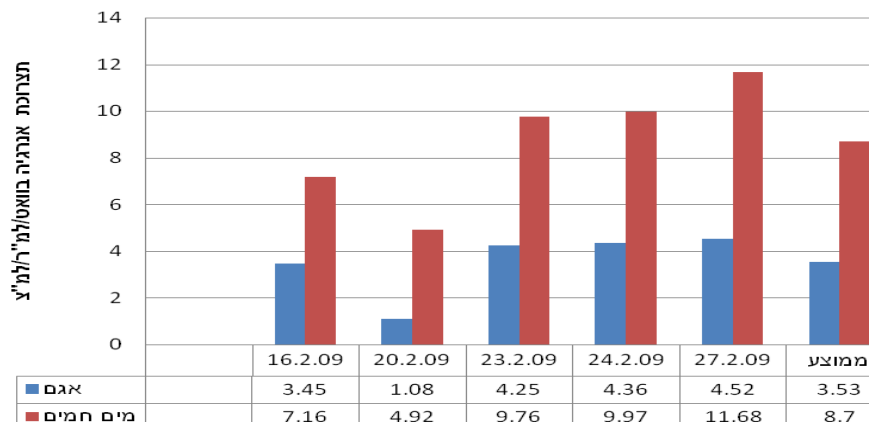


איור 3: השוואת לחות יחסית ממוצעת באחוזים בשעות הלילה בחממות מחוממות בצינורות מים חמים (ורוד) לבין חממת אגם (כחול).

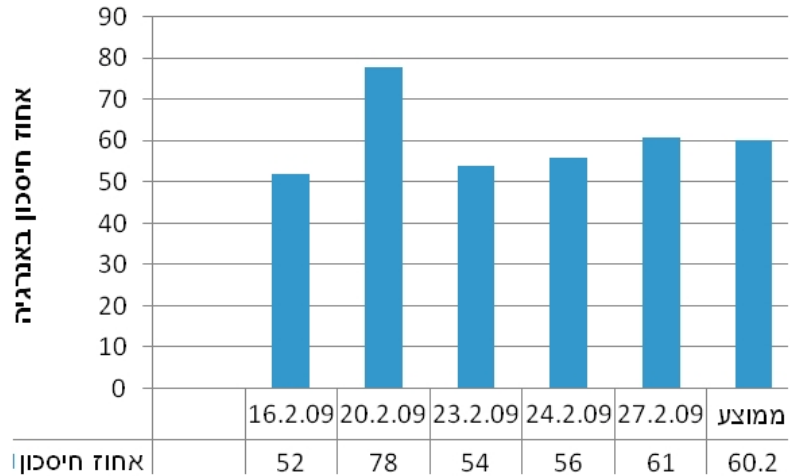


איור 4: השוואת טמפרטורות אוויר ממוצעות מחוץ לחממות, בחממת אגם (חממה 3) לעומת חממה המחוממת במים חמים (חממה 9). הנתונים הם ממוצעים של השעות בין 20<sup>00</sup> ל-7<sup>00</sup> בתאריכים הבאים: 19, 23, 27 בינואר, 3, 4, 16, 20, 23, 24, 27, 28 בפברואר. תאריכים אלו נבחרו כי מצב החממות היה זהה מבחינת סטאטוס המסכים (גלילה פריסה).

**תצרוכת אנרגיה** - השוואת תצרוכת האנרגיה בחממת אגם מול חימום במערכת המבוססת על חימום מים מוצבת באיור 5, איבוד החום הממוצע בחממת אגם (ח' 3) ניתן על ידי מקדם מעבר של 3.53 לעומת 8.7 ואט למטר מרובע למעלה בחממה עם חימום מים חמים. היחס  $3.53/8.7 = 40.6\%$  מבטא את צריכת האנרגיה בחממה עם מיבש אגם לחממה בחימום מים חמים. חימום ביחידת אגם חוסך כ-60% מצריכת חממה בחימום מים חמים כאשר הביטוי באחוזים מוצג באיור מס' 5, יש לציין כי עונת החורף האחרונה הייתה חמה מהממוצע ומערכות החימום לא נדרשו להשתמש במלוא היכולת שלהם והדרישה לחימום עמדה על כ-4 מעלות לעומת החוץ (איור 4) כאשר מערכות אלו מסוגלות להגיע להפרשים גדולים הרבה יותר.



איור 5: השוואת תצרוכת אנרגיה בחממת אגם (חימום יבוש) לעומת חימום במערכת מים חמים



איור 6: אחוז החיטכון באנגייה בחממת אגם לעומת חימום באמצעות מים חמים בתאריכים השונים.

**מעקב טמפרטורה ולחות בפירות** - מטרת הבדיקה היא לאפיין האם ישנו קשר בין תופעת הסדקים בפרי לטכנולוגית בית הצמיחה עקב השינויים האקלימיים הקיימים בשיטות השונות. נושא הסדקים בפרי הפלפל בדפנות הפרי קיים כבעיה בדרך כלל בתקופת האביב בערבה החל מחדש פברואר ומוריד את דירוג האיכות של הפרי, התופעה מתקיימת כאשר ההבדלים בטמפרטורות בין היום ולילה הופכים להיות משמעותיים יותר ועל הפרי נוצר דוק מים הנובע מעלית הטמפרטורה והלחות במבנה לעומת הטמפרטורה הקרה יחסית של הפרי בשעות הבוקר (איור 7), כך נוצרת שכבת עיבוי אשר כנראה מקצינה את הליך היווצרות הסדקים, יש לציין גם כי הפרי הנקטף במהלך פברואר מרץ הוא פרי אשר חנט בחודש אוקטובר נובמבר גיל הפרי הוא כ- 90 עד למעלה מ- 100 יום, פרי זקן הרגיש לתהפוכות מזג האוויר ולחות ומי עיבוי הנוצרים על הפרי. פרוטוקול הבדיקה מפורט בפתיח בסעיף שיטות. יש לציין כי למעט מנקודת הבדיקה הראשונה בשעה 7<sup>00</sup> בבוקר, מערכות החימום והמסכים מושבתים והתוצאות המתקבלות הן ללא פעולת הציוד לסוגיו.

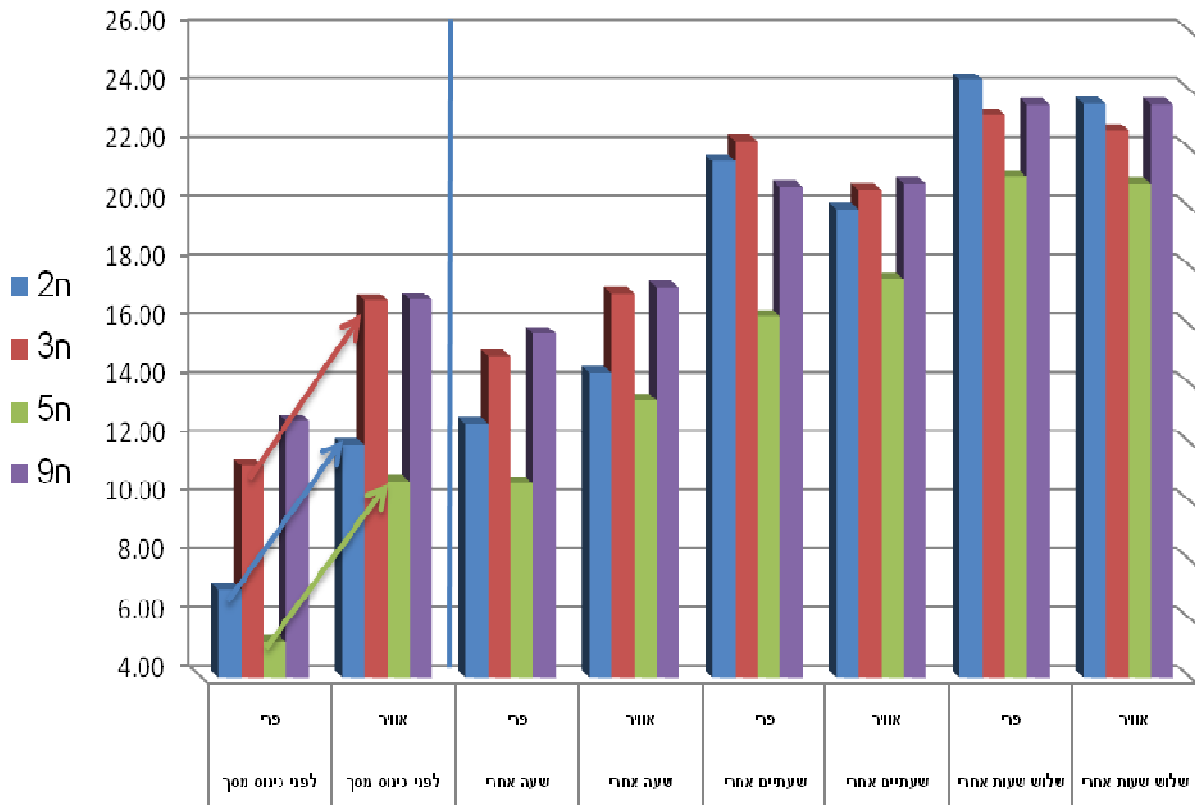
**טמפרטורת פרי:** באיור 7 המשווה את טמפרטורת האוויר והפרי באותה נקודת זמן, מצביע על הפרש טמפרטורות גדול בין טמפרטורת הפרי לבין טמפרטורת האוויר ההולך ומצטמצם עד להשוואת טמפרטורה בין הפרי לבין האוויר 3 שעות לאחר פתיחת המסכים. ההבדל הגדול ביותר הוא בבדיקה הראשונה לפני גלילת המסכים בשעה 7<sup>00</sup> והפרש הטמפרטורה מגיע לכ- 5 עד 6 מעלות כאשר הפרי קר מהאוויר, הפרי הקר ביותר הוא בחממת הביקורת ללא חימום וטמפרטורת הפרי עומדת על כ- 5 מ"צ לאחר מכן חממה 2 אשר מכוסה במסך תרמי בלבד טמפרטורת הפרי כ- 7 מעלות, טמפרטורת הפירות בחממת אגם כ- 11 מ"צ, ואילו טמפרטורת הפרי בחממה 9 המבוססת על חימום מים חמים, מגיעות ל- 13 מ"צ, ב- 2 מעלות יותר למרות שטמפרטורת האוויר הזוהר בזמן זה בשתי החממות. יתכן מאוד כי ההבדל נובע מאופי פיזור החום בחממה, כאשר החום בחממת אגם מגיע מלמעלה כלפי מטה עם זרם האוויר החם, ואלו מחליפי החום של מערכת החימום במים חמים היו מונחים קרוב לקרקע כלומר כיוון פיזור החום הוא מלמטה כלפי מעלה ומקור החום קרוב יותר לפרות נבדקים, לכן כנראה ההבדל בטמפרטורת הפרי.

הפרי בחממה 5 (חממת הביקורת) הוא קר לאורך כל הדרך משאר החממות עקב נקודת הפתיחה הנמוכה של טמפרטורת פרי הנובעת מטמפרטורת האוויר הנמוכה במבנה זה, בשעות היום ולילה.

**לחות ורטיבות הפרי:** בשעה הראשונה של בדיקת הלחות על פני הפרי איור 8 כל הטיפולים היו יבשים (דרגת רטיבות מס' 1) ההבדלים ברטיבות "נפתחים" בשעה השנייה לאחר פתיחת המסכים הפרי הרטוב



ביותר הוא בחממה מס' 2 אשר בה יש רק מסך ללא חימום באיור 9 המאפיין את רמת הלחות היחסית ניתן לראות כי חממה זו היא הלחה ביותר לאורך כל הדרך, חממת הביקורת חממה 5 בה הפרי הוא היבש ביותר היא כמובן גם המאווררת ביותר הנתון המקבל אישור באיור 9 בה רואים בצורה ברורה את הלחות היחסית הנמוכה במבנה 5.

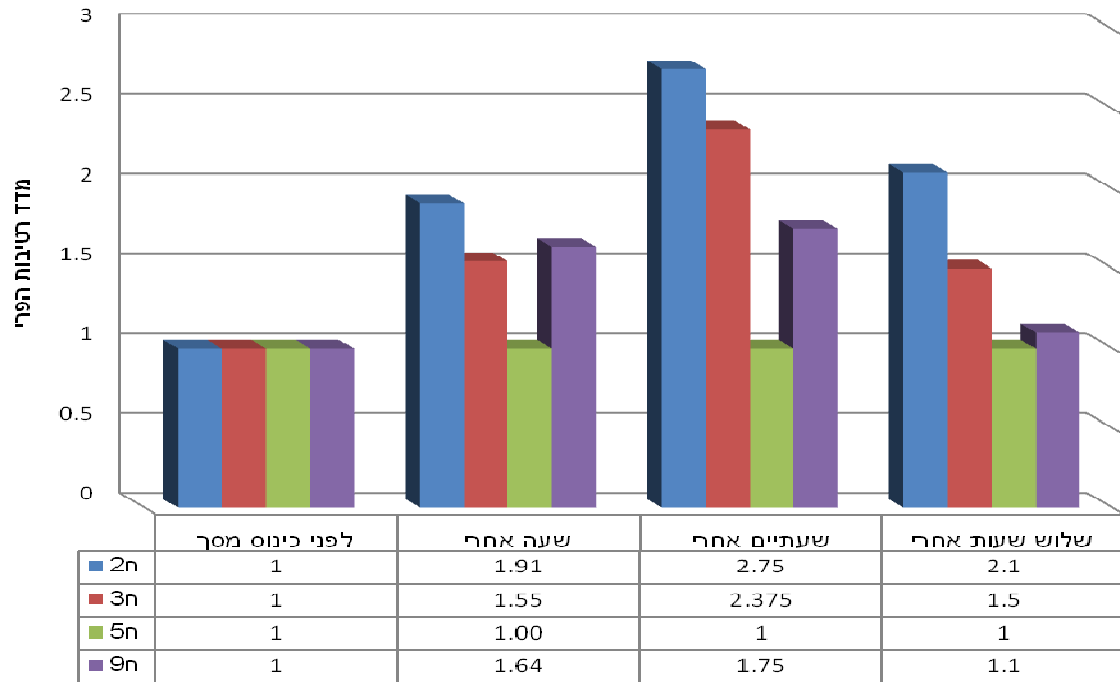


איור 7: בדיקת טמפרטורת פרי וחלל המבנה (אוויר). (תאריכי בדיקה טבלה 1) הבדיקה ב-4 מועדים במהלך הבוקר, בדיקה ראשונה לפני גלילת המסך ועד שלוש שעות לאחר מכן.

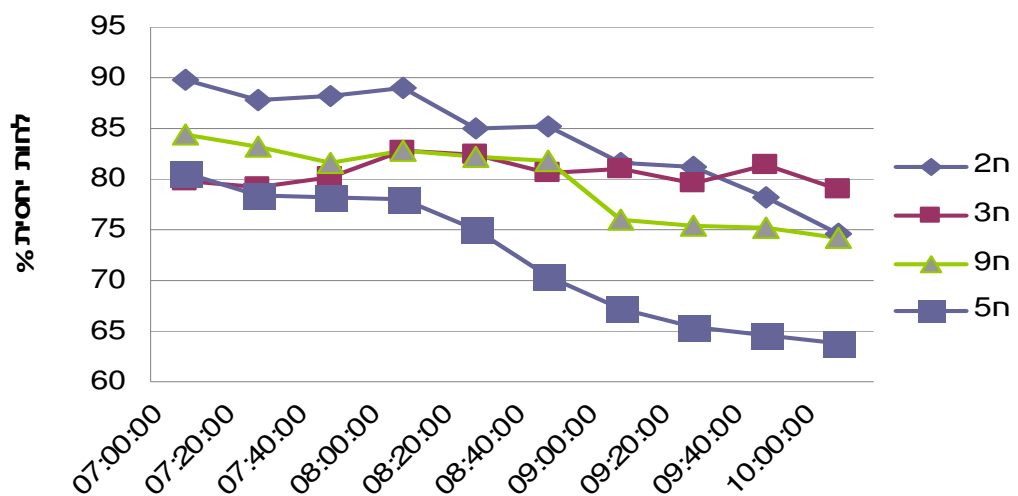
יתכן כי אחת הסיבות אשר תרמו ליובש במבנה 5 מבנה הביקורת היא פעילות צמח נמוכה יותר בניגוד לשאר החממות קודקודי הצמיחה היו לא פעילים עקב הטמפרטורות הנמוכות בחממת הביקורת ואילו בשאר המבנים היה כל העת צימוח צעיר המאפיין פעילות צמח נמרצת וכמובן גם טרנספירציה גבוהה אשר משפיעה על רמת הלחות במבנה.

הפירות בחממות המחוממות דומים ברמת הרטיבות במדידה הראשונה, אך לאחר מכן הפרי בחממת אגס רטוב יותר מאשר בחממת חימום במים חמים, למרות הלחות היותר נמוכה בחממת אגס איור 9 לפחות עד השעה 8 הסיבה לכך טמונה בטמפרטורת הפרי היותר נמוכה בחממה זו לעומת החממה המחוממת במים חמים, (ההסבר לכך בסעיף טמפרטורה לעיל) פרי בטמפרטורה נמוכה יותר על רקע עלית הלחות והטמפרטורה מגיב ביצירת עיבוי מים על פני הפרי הקר איורים 7, 8.

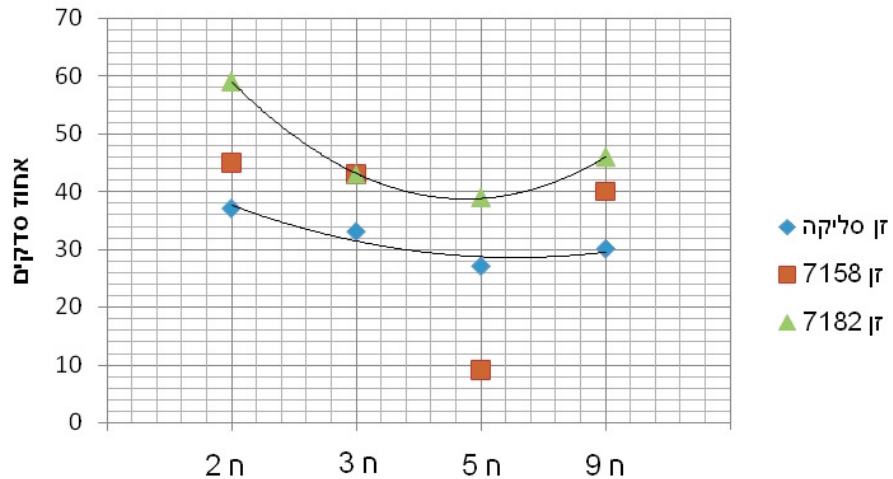
במסגרת הניסויים בעונה זו לא נבדקה האפשרות של השארת המבנה סגור ויבושו באמצעות המתקן של אגס. יהיה צורך לבדוק נושא זה בעונת הגידול הבאה. ניתן להבחין כי בשעה השלישית איור 7 ו-8 רטיבות הפרי יורדת וגם הלחות במבנה במגמת ירידה איור 9 כאשר מבנה 2 (מסך בלבד) עדיין רטוב ולח יחסית לשאר המבנים.



איור 8: השוואת רטיבות ממוצעת על פני הפרי (תאריכי בדיקה טבלה 1) ערך 1 הוא פרי יבש וערך 3 הוא פרי רטוב הבדיקה ב-4 מועדים במהלך הבוקר, בדיקה ראשונה לפני גלילת המסך ועד שלוש שעות לאחר מכן. (בשעות אלה הן מערכת אג"ס והן מערכת החימום לא פעלו)



איור 9: השוואת הלחות היחסית הממוצעת במבנים השונים במועד בדיקת טמפרטורת ולחות הפירות הידנית.



איור 10: ממוצע עונתי של אחוז הפירות הסדוקים בחממות השונות: 2n מסך תרמי, 3n אגס, 5n ביקורת, 9n חימום מים חמים בשלושת הזנים סליקה, 7158 ו-7182

ברקע נתוני הלחות ורטיבות הפרי באיור 10 ניתן להבחין בהבדל בין הזנים השונים והוא נראה גדול יותר מהשפעת הטיפולים, הזן סליקה הוא הסביל בין הזנים והזן 7182 הוא הרגיש מבין הזנים הנבדקים לנושא הסדקים, הזן 7158 זן ביניים מבחינת הרגישות לסדקים למעט בחממת הביקורת בה הוא נמוך במיוחד, החממות המחוממת אגס וחימום מים דומות מאוד מבחינת ההשפעה על הסדקים למרות הרטיבות הרבה יותר על הפרי בחממת אגס לא היו הבדלים ברמת הסדקים בין חממת אגס לחממה המחוממת במים חמים.

### סיכום ומסקנות

המסך התרמי שיפר את מאזן הטמפרטורה הלילי והוסיף בממוצע כ-2 עד 3.5 מ"צ במהלך הלילה, ללא תוספת אנרגיה ממקור חיצוני (מלאכותי). לתרומה זו מתלווה תוספת לחות למבנה המעלה את רמת הסדקים בפירות הפלפל.

מערכת אגס הגיעה לחיסכון אנרגטי של כ-60 אחוזים בממוצע לעומת מערכת חימום מקבילה המשתמשת לחימום החממה במים חמים, שתי המערכות עשו שימוש במערכת מסך תרמי. הלחות היחסית במבנה המחומם ע"י מערכת אגס נמוכה יותר לעומת מערכת חימום קונבנציונלית המחממת את המבנה באמצעות מים חמים. הפרש זה יעלה ככול שרמת האטימה של המבנה תהיה גבוהה יותר.

הזן סליקה הוא הסביל יותר לבעיית הסדקים, ורמת הסדקים בו נמוכה יחסית לזנים האחרים. הזן 7182 רגיש יותר לתופעת הסדקים מבין הזנים אשר נבחנו. רמת הסדקים הגבוהה יותר התקבלה בחממת המסך התרמי וזאת בהתאמה לבדיקת הרטיבות הפרי והלחות הגבוהה במבנה זה, לעומת המבנים האחרים.

מוצע לבדוק את מערכות החימום במשך עונה נוספת על מנת לאפיין את פיזור החום והלחות בשיטות החימום השונות, ובמקרה של חורף קר יותר את רמת הביצועים של כל מערכת בתנאים של חורף פחות אביבי מהשנה הנוכחית.