

צינון רפתות

Dairy barns cooling

מוגש לקרן מדען ראשי משרד החקלאות – ע"י

המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי	ד"ר אברהם ארבל
המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי	ד"ר אפרים מלץ
המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי	ד"ר אלכסנדר שקליאר
המכון לבעלי חיים, מינהל המחקר החקלאי	משה קאים
המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי	מרדכי ברק
המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי	גיא לידור
המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי	אשר לוי
המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי	אהרון אנטלר
התאחדות מגדלי בקר	יוסי מלול
חוות ניסיונות בית שאן	ציון דקו
שרות ההדרכה והמקצוע	סטיבן רוזן
שרות ההדרכה והמקצוע	הילל מלכא

Dr. Avraham Arbel, Institute of Agricultural Engineering, E-mail: arbel@agri.gov.il

Dr. E. Maltz, Institute of Agricultural Engineering

Dr. A. Shklyar, Institute of Agricultural Engineering

M. Kaim, Institute of Animal Science

M. Barak, Institute of Agricultural Engineering

G. Lidor, Institute of Agricultural Engineering

A. Antler, Institute of Agricultural Engineering

A. Levi, Institute of Agricultural Engineering

Y. Malul, Israeli Cattle Breeder's Association

Z. Daco, Research Station Beit-Shean Vally

S. Rozen, The Agricultural Extension Service

H. Malka, The Agricultural Extension Service

מרץ 2013

ניסן תשע"ג

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים ואינם מהווים המלצות לחקלאים

חתימת החוקר

תקציר

הצגת הבעיה – תנאי הגידול הם המפתח לייצור אופטימאלי ולרווחת הפרה ומכאן לתמורה כלכלית גבוהה. בנוסף לתזונה נכונה וממשק מתאים, תנאי הגידול באים לידי ביטוי בתנאי האקלים השוררים בחלל המבנה (קרינה, טמפרטורת האוויר, לחות יחסית ומהירות האוויר) וריכוזי גזים רעילים. מרבית הרפתות בארץ מבוססות על אוורור טבעי לסילוק עודפי חום ולחות, לייבוש הרפד ולהקטנת ריכוזי הגזים הרעילים. טמפרטורות האוויר הגבוהות בארץ בעונות הקיץ, הסתיו והאביב, וגורמות לכך שהפרות מצויות בתנאי עקה. כתוצאה מכך, הפרות אינן ניזונות באופן סדיר, מתגודדות, מגבירות את קצב ההלחחות ונפגמת תנובת החלב.

מהלך ושיטות עבודה – בשנה זו העבודה התמקדה בשלוש משימות עיקריות: המשך ניתוח התיאורטי, התקנת המערכות ברפת הניסיונית הממוקמת בשדה אליהו ומעקב אחר הביצועים ברפתות של הקיבוצים יהל וגרופית.

תוצאות עיקריות – על פי התוצאות שהתקבלו, ניתן להראות שטמפרטורת הסף התחתון של האוויר שניתן להגיע אליה בתוך המבנה במהלך ימות הקיץ, עשויה לנוע בתחום של 19 מ"צ בשעת הזריחה עד 23 מ"צ בצהרי היום. כמובן, סף זה נמוך יותר בתקופות השוליים והינו במגמת ירידה ככול שהמקום גבוה יותר. האינדיקציות ברפת גרופית לגבי תנובת החלב בקיץ בתנאי הצינון החדשניים מצביעות על ביצועים משופרים לעומת שיטת הצינון הקונבנציונלית (הרטבה ואוורור גם בין החליבות). בניסוי מבוקר שנערך ברפת יהל, תנובת החלב במשך תקופת המדידה בקיץ שהתחילה באמצע יולי, עבור הפרות בסככה שבה הופעל הצינון החדשני, הייתה גבוהה בלמעלה משניים וחצי ק"ג חלב לפרה ליום בהשוואה לתנובת החלב בסככה בה בוצע צינון קונבנציונלי. מערכת הבקרה פעלה היטב הן מבחינת שמירה על ספי הפעולה, מחד גיסא, והן במניעת הפעלות מיותרות ולמניעת הבלאי המוגבר הנלווה לכך, מאידך גיסא.

מסקנות והמלצות – טמפרטורת הסף התחתון שניתן להגיע אליה בתנאי הערבה, בתוך המבנה במהלך ימות הקיץ, עשויה לנוע בתחום של 19 מ"צ בשעת הזריחה עד 23 מ"צ בצהרי היום. הפעלה חלקית של השיטה המוצעת גרמה להגדלת תנובת החלב בכדי 2.5 ק"ג ליום לפרה.

פרסומים מדעיים שנבעו מביצוע המחקר: אין, בשלב המוקדם בו אנו מצויים.

1. מבוא ותאור הבעיה

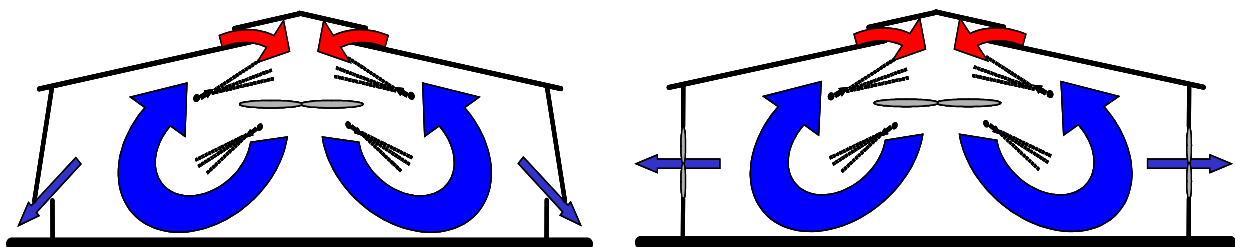
תנאי הגידול הם המפתח לייצור אופטימאלי ורווחת הפרה ומכאן לתמורה כלכלית גבוהה. בנוסף לתזונה נכונה וממשק מתאים, תנאי הגידול באים לידי ביטוי בתנאי האקלים השוררים בחלל המבנה (קרינה, טמפרטורה, לחות יחסית ומהירות האוויר) וריכוזי גזים רעילים (כגון אמוניה). מרבית הרפתות בארץ מבוססות על אוורור טבעי לסילוק עודפי חום ולחות, לייבוש הרפד ולהקטנת ריכוזי הגזים הרעילים. טמפרטורות הקיץ, הסתיו והאביב הגבוהות בארץ גורמות לכך שהפרות מצויות בתנאי עקה. כתוצאה מכך, הפרות אינן ניזונות באופן סדיר, מתגודדות ומגבירות את קצב ההלחחות. במגמה להקטין את עומס החום, נהוגות היום בארץ מגוון של שיטות צינון הכוללות בין היתר הרטבה, אוורור ממוקד ושילובים ביניהם. שיטות אלה למרות יעילותן התרמית מעצימות את בעיית השפכים ע"י הגדלת נפח זבל ההפרשות, ומכאן לזיהום הסביבה. ובנוסף לכך, תנגודת הפרה קטנה לבעיות בריאות הקשורות להרטבתן. חסרונות נוספים הם בכך שהפרות מופרעות משגרתן לצורך הצינון ואינן נהנות מצינון בזמן שהן רובצות בחלק היבש של הסככה לצורך מנוחה והעלאת גירה. כתוצאה מכך, עומס החום האפקטיבי עליהן

עולה בשעות אלה. השיטה המוצעת (ראה להלן), באה להתגבר על חסרונות אלה. צינון פרות חלב בקיץ צריך להתמודד עם תנאים שונים החל מ-40°C ו-RH 20%, וכלה ב-30°C ו-RH 60%.

מערכת הצינון המוצעת מבוססת על המרת חום מוחש לחום כמוס של האוויר באמצעות אידוי מים ובתהליך אדיאבטי (ללא תוספת חום) וללא הרטבה. אי לכך, הפתרון הכולל המוצע מבוסס על מבנה מבודד במגמה להקטין את עומסי החום לרמות המינימאליות, ומערכת צינון התנדפותי. מערכת הצינון המוצעת כוללת שלושה מרכיבים עיקריים, כמתואר באיור 1:

1. הספקת מים לאידוי כערפל באמצעות פומיות ריסוס ללחץ גבוה הפזורות בחלל המבנה.
2. החלפה מבוקרת של אוויר המבנה באמצעות אוורור טבעי (פתחים בגג ובדפנות) או באמצעות אוורור מאולץ (פתחים בגג ומאווררים המותקנים בדפנות).
3. סחרור האוויר שבמבנה באמצעות מסחררים (High Volume Low Speed) על מנת להקנות מהירות אוויר רצויה, בנוסף לטמפרטורה ולחות.

הפומיות ללחץ גבוה מייצרות טיפות בתחום הערפל המתאפיינות בשטח פנים גדול יחסית לנפח ובמהירות נפילה נמוכה מאוד (בהשוואה לפומיות המשמשות להתזה והיצרות טיפות גדולות יחסית). תהליכי מעבר חום ומסה גדלים ככול שהטיפה יותר קטנה. מוצע על כן, להתקין את פומיות הריסוס בלחץ גבוה, גבוה ככל האפשר במבנה ובהתאם למשטר הזרימה של האוויר בו, על מנת להבטיח אידוי מלא של טיפות המים ולמנוע הרטבת הפרות והרפד. בכך, כל טיפת מים מנוצלת במלואה לצינון בלבד. משטר הזרימה במבנה מושפע מקצב החלפת האוויר ובעיקר ממערכת סחרור האוויר בתוך המבנה.



איור 1: תאור סכמאטי של המערכת המוצעת באוורור מאולץ וטבעי.

2. מטרת העבודה: מטרת העבודה העיקרית הינה פיתוח שיטת צינון לרפתות המשולבת ממערכות אוורור, סחרור וערפול. זאת, במגמה להקנות תנאים (טמפרטורה לחות ומהירות אוויר) שיאפשרו הפגת החום מהפרות, ללא מאמץ מצידן, ובאופן הכלכלי ביותר.

3. סקירת ספרות וניתוח תיאורטי

עבודה זאת מציעה גישה הנדסית כמותית לטיפול בבעית עומס החום של פרת החלב באמצעות הקניית מקדם הנוחות (THI) משופר. לכמת את האפשרויות לשיפורו בתנאי סככה נתונים ומשופרים (כגון הוספת וילונות צד ובידוד), לחשב ולכמת את האמצעים הפיסיקליים (ספיקת מים לעירפול וספיקת האוויר המוחלפת) וגבולותיהם. כל זאת כדי להקטין עלויות מצד אחד ולחסוך במים ולהקטין זיהום סביבה מצד שני.

בדומה לחממות [1 – 12], מערכת הצינור המוצעת מבוססת על המרת חום מוחש לחום כמוס של האוויר באמצעות אידוי מים ובתהליך אדיאבטי (ללא תוספת חום) וללא הרטבה. מערכות ערפול (במתכונת דומה) נבחנו במהלך השנים האחרונות לצורכי צינור חממות ובתנאי הערבה התיכונה (עין יהב וחצבה) ונמצא שהן מקנות תנאי אקלים בתחום הרצוי (טמפרטורה - 28 מ"צ ולחות יחסית - 80%) ותנאים אחידים בכל שטח המבנה. כמו כן, מערכות צינור אלה יעילות יותר הן מבחינה האנרגטית והן מבחינת ניצול המים בהשוואה למזרן לח. ההבדל בין מערכות הערפול לצורכי רפתות ולצורכי חממות עשוי לנבוע מהדרישה להמירות אויר גבוהה משמעותית ברפת בהשוואה לחממה. חשוב לציין שמדובר בחממות גדולות עם עומס חום הגבוהה משמעותית בהשוואה לסככות בקר לחלב מקובלות. במגמה להדגים את ביצועי המערכת העשויים להתקבל, ובהתבסס על מקדם נוחיות (THI) של פרה חולבת המוגדר (בתנאים ללא תנועת אויר) כ:

$$(1) \quad THI = 0.72(T_d + T_w) + 40.6$$

כאשר: T_d ו- T_w טמפרטורות היבש והלח של האוויר שבקרבת הפרה בהתאמה. חשוב להדגיש, הגברת מהירות האוויר לערכים רצויים ובקרבת הפרה מיטיבה עם הפרה, אך אין תיעוד מתאים לכך. בהתאם לכך וכמתואר באיור 1, נהוג להגדיר מקדם נוחיות כ: תנאים נוחים עד לערכים של 70, מעבר לכך ועד 75 כתנאים נסבלים, מעבר לכך ועד 78 כתנאי עקה ומעבר לכך כתנאי עקה קיצונית. באיור 2 מוצגים גם קווים שווי טמפרטורה לחה של האוויר. קווים אלה מאפיינים תהליך של צינור באמצעות אידוי מים. לשם הדגמה אויר בתנאים של 38 מ"צ ולחות יחסית של 20% (תנאי ערבה ובקעה השכיחים בחודשי הקיץ), הנם תנאי עקה קיצונית מאוד עבור פרה חולבת ($THI=83$). לעומת זאת, באמצעות שימוש במערכת המוצעת ניתן להקנות תנאים נסבלים ($THI=72$) בלחות יחסית של 80%, או תנאים נוחים ($THI=70$) – תוך הגברת הלחות לכדי רוויה. לאחרונה הותקנו מספר מערכות ערפול לצינור רפתות (בית זרע, אפיקים ואחרים) הכוללות בעיקר פומיות ריסוס הממוקמות מעל אזור המדרך ובאזור טבעי. מתוך תצפיות ראשוניות ניתן להצביע בבירור על הגדלת תנובת החלב בחודשי הקיץ, מאפשר הזרעה במהלך כל חודשי השנה באחוזי הצלחה סבירים, ושיפור ניכר ברווחת הפרה הבא לידי ביטוי בעיקר במספר ההלחחות ובהתגודדות בהשוואה לסככות לא מצוננות.

אפיון מרכיבי המערכות השונות מתבסס על מאזני אנרגיה ומסה כמקובל [13 – 15] ועל פי הפירוט הבא:

אפיון עומס חום של הפרה – חישוב עומס החום (q – וואט למ"ר ריצפה) מתבסס על ההנחות הבאות: מצב יציב, מבנה מבוקר המאפשר שליטה בספיקת האוויר, ושטף חום לקירות ולריצפה (מוחש וכמוס) זניחים. בתנאים אלה, שטף החום מתקבל בקירוב טוב מתוך המשוואה:

$$(2) \quad q = \frac{Q_{loss}}{A_{an}} + q_c$$

כאשר: Q_{loss} – שטף החום הנפלט מהפרה (או כל בעל החיים אחר – וואט), A_{an} – שטח ריצפה המוקצה לפרה ו- q_c שטף חום מתקרת המבנה (וואט למ"ר). כמצוין, מאזן האנרגיה הנו בתלות בסוג בעל החיים (עופות, יונקים), מידת פעילותו הגופנית (מנוחה לעומת תנועה) והיצרנות (הנבה, הטלה, גדילה). לגבי חיות משק, שטף החום מוכתב מייעודן הכלכלי (כדוגמא – פרות בשר, פרות חלב, הרות) ורמת היצרנות (כדוגמא גיל, משקל, תנובת חלב, מצבי

עקה ואחרים). לשם הדגמה, הדיון בהמשך מתמקד בפרות חולבות. השטף האנרגטי הנוצר בגוף בעל החיים (Q) הנו בהתאם לצריכת המזון, הרכב המזון ויעילות ההמרה המתקבל מתוך:

$$(2) \quad Q = m_f C_f \eta_f$$

כאשר: m_f – צריכת המזון ליחידת זמן, C_f – הערך הקלורי של המזון ו- η_f – יעילות ההמרה. מנת המזון של פרות חולבות משתנה מעת לעת ומורכבת מסוגים שונים של מזון כאשר הערך הקלורי שלה עומד כיום על כ- 17000 kJ/kg. יעילות ההמרה הממוצעת של פרות עומדת על כ- 0.75. אנרגיה זו משמשת לקיום הפרה (Q_{main}), ליצירת חלב (Q_{milk}), תוספת או גריעה במשקל (Q_{we}) ועודפי החום (Q_{loss}) הנפלטים לסביבה:

$$(3) \quad Q = Q_{main,P} + Q_{milk,P} + Q_{we,P}$$

על מנת לספק את האנרגיה לקיום הפרה (Q_{main}), יש צורך בהשקעת אנרגיה ($Q_{main,P}$) מוגברת בהתאם ליעילות התהליכים הפנימיים ($\eta_{main,P}$) ומתקבלת מתוך:

$$(4) \quad Q_{main,P} = \frac{Q_{main}}{\eta_{main,P}}$$

אנרגיה זו אינה תורמת ליצירת משקל או חלב אלא לקיום עצמי ולכן היא נפלטת לסביבה כחום בסופו של דבר. לגבי בקר בתנא המשק, נהוג לחשב מתוך:

$$(5) \quad Q_{main,P} = 5.3W^{0.75}$$

כאשר W – משקל הבקר. אנרגיית החלב ניתנת לחישוב מתוך:

$$(6) \quad Q_{milk} = m_{milk} C_{milk}$$

כאשר: m_{milk} – תנובת החלב ליחידת זמן ו- C_{milk} – הערך הקלורי של החלב. הערך הקלורי של החלב תלוי בהרכב הכולל בעיקר: מים, שומן, חלבון, וסוכרים. לשם הדגמה, הערך הקלורי של החלב בעל תכולה של 4% שומן הנו כ- 3140 kJ/kg. יעילות תהליך ייצור החלב ($\eta_{milk,P}$) עשויה להשתנות וכיום עומדת על כ- 0.65 בממוצע. אי לכך, ניתן להעריך את צריכת האנרגיה של הפרה לצורך ייצור החלב ($Q_{milk,P}$) מתוך:

$$(7) \quad Q_{milk,P} = \frac{Q_{milk}}{\eta_{milk,P}}$$

צריכת האנרגיה לתוספת (או גריעה) במשקל מתקבלת מתוך:

$$(8) \quad Q_{we} = m_{we} C_{we}$$

כאשר: m_{we} – קצב גדילה ליחידת זמן ו- C_{we} – הערך הקלורי של הרקמות הנוצרות. חשוב לציין, הגורמים לשינויים במשקל הגוף הנם מגוונים כגון גדילה, הריון ובניית רקמות שומן. בדומה למשוואה (7), על מנת לספק את האנרגיה לגדילה (Q_{we}), יש צורך בהשקעת אנרגיה ($Q_{we,P}$) מוגברת בהתאם ליעילות תהליך הגדילה ($\eta_{w,P}$) ומתקבל מתוך:

$$(9) \quad Q_{we,P} = \frac{Q_{we}}{\eta_{we,P}}$$

בהתאם לכך, ניתן לסכם ולאפיין את צריכת האנרגיה (Q) והפסדי החום (Q_{loss}) הנפלטים לסביבה מתוך:

$$(9) \quad Q = Q_{mainP} + Q_{milkP} + Q_{weP}$$

$$= \frac{Q_{main}}{\eta_{mainP}} + \frac{m_{milk} C_{milk}}{\eta_{milkP}} + \frac{m_{we} C_{we}}{\eta_{weP}}$$

$$(10) \quad Q_{loss} = (Q_{mainP}) + (Q_{milkP} - Q_{milk}) + (Q_{weP} - Q_{we})$$

$$= Q_{mainP} + m_{milk} C_{milk} \left(\frac{1}{\eta_{milkP}} - 1 \right) + m_{we} C_{we} \left(\frac{1}{\eta_{weP}} - 1 \right)$$

מאזן אנרגיה אודות המבנה – מתוך הנחה שהטמפרטורה הפנימית של המבנה אחידה, שטף החום מתקרת המבנה מתקבלת מתוך סידרת המשוואות הבאה:

$$(11) \quad q_c = I\alpha - h_{co}(T_{co} - T_{am}) - \varepsilon\sigma(T_{co}^4 - T_{sky}^4)$$

$$(12) \quad q_c = h_{ci}(T_{ci} - T) + \varepsilon\sigma(T_{ci}^4 - T^4)$$

$$(13) \quad q_c = \frac{K}{L}(T_{co} - T_{ci})$$

כאשר: I – קרינת השמש (וואט למ"ר), α – מקדם הבליעה של התקרה, h_{co} – מקדם מעבר חום בהסעה מהתקרה לסביבה החיצונית, T_{co} – טמפרטורת התקרה בצד החיצוני, T_{am} – טמפרטורת סביבה, ε – מקדם מעבר חום בקרינה של התקרה, σ – מקדם סטפן בולצמן ($5.6697 \cdot 10^{-8}$ וואט למ"ר למעלת קלווין ברביעית), T_{sky} – טמפרטורת רקיע, h_{ci} – מקדם מעבר חום בהסעה מהתקרה לאוויר הפנימי, T_{ci} – טמפרטורת התקרה בצד הפנימי, T – טמפרטורת האוויר הפנימית, K – מקדם מעבר חום בהולכה של התקרה ו- L – עובי התקרה. מקדמי שטפי החום מתקבלים מתוך:

$$(14) \quad h_{co} \cong 4.4 \frac{(\rho_{am} V_{wind})^{0.8}}{L_b^{0.2}}$$

$$(15) \quad h_{ci} \cong 4.4 \frac{(\rho_{in} V_{in})^{0.8}}{L_b^{0.2}}$$

כאשר: ρ_{am} – משקל סגולי של האוויר החיצוני, כאשר: ρ_{in} – משקל סגולי של האוויר הפנימי, V_{wind} – מהירות הרוח, V_{in} – מהירות פנימית הממוצעת של האוויר שבקרבת התקרה ו- L_b – אורך אופייני של התקרה (רוחב המבנה).

ספיקת אוורור – בהתאם לעומס החום הכולל, ספיקת האוורור מתקבלת מתוך:

$$(16) \quad m_a = \frac{q}{h_{in} - h_{am}}$$

כאשר: h_{in} – אנטלפיה של האוויר הפנימי ו- h_{am} – אנטלפיה של אוויר הסביבה. תכונות האוויר ככלל והאנטלפיה בפרט ניתנים לאפיון באמצעות טבלאות או עקומות פסיכרומטריות או באמצעות חישוב מתאים [17 – 20].

ספיקת אידי מים – ספיקת המים הכוללת שיש לאדות מתקבלת מתוך:

$$(17) \quad m_w = m_a(w_{in} - w_{am})$$

כאשר: w_{in} – יחס הערבוב של האוויר הפנימי ו- w_{am} – יחס הערבוב של אוויר הסביבה. האנטלפיה (h) ו- יחס הערבוב (w) של האוויר הפנימי מחושבים בהתאם לטמפרטורה (T) ולחות יחסית (RH) הרצויים. לחלופין, בהינתן ספיקת האוויר וספיקת המים ניתן לחשב האנטלפיה ויחס הערבוב של האוויר הפנימי, ובהתאם לכך ניתן לחשב את שאר תכונות האוויר. חשוב להדגיש, ספיקה זו של המים המתאדים הינה ממקורות שונים מהפרות, הרפד ובעיקר ממערכת הערפול.

הפגת עודפי חום מהפרה – עודפי החום (Q_{loss}) נפליטים באמצעות מערכת הנשימה (Q_{Br}) ובעיקר מבעד מעטפת הפרה (Q_{SK}):

$$(18) \quad Q_{loss} = Q_{Br} + Q_{SK}$$

פליטת החום באמצעות מערכת הנשימה מתאפיינת בכך שהאוויר הנפלט בתנאי רוויה ובטמפרטורת גוף הפרה וניתן לחישוב מתוך:

$$(19) \quad Q_{Br} = m_{a,Br} (h_{Sat} - h_{in})$$

כאשר: $m_{a,Br}$ – ספיקת האוויר בנשימה, h_{Sat} – האנטלפיה של האוויר הנפלט אשר בתנאי רוויה ובטמפרטורת הגוף (T_B) ו- h_{in} – האנטלפיה של האוויר שבקרבת הפרה. תכונות האוויר ככלל והאנטלפיה בפרט ניתנים לאפיון באמצעות טבלאות או עקומות פסיכרומטריות או באמצעות חישוב מתאים. תהליך זה מלווה בפליטת חום מוחש וכמוס ובהתאם לכך ספיקת המים המתאדה המתקבלת מתוך:

$$(20) \quad m_{w,Br} = m_{a,Br} (w_{Sat} - w_{in})$$

כאשר: w_{Sat} – יחס הערבוב של האוויר הנפלט אשר בתנאי רוויה ובטמפרטורת הגוף (T_B) ו- w_{in} – יחס הערבוב של האוויר שבקרבת הפרה. כמצוין, בתנאי עקה הפרה מגבירה את קצב הנשימה, הקרויה הלחתה. ההלחתה כרוכה בהפסקת העלאת הגירה ועמה צמצום צריכת המזון ורמת הייצור. אי לכך, חשוב להקנות תנאים בהן הפרה אינה סובלת מעקה, הווה אומר נשימה בקצב סביר.

ככלל, ספיקת הנשימה של יונקים בתנאי מנוחה [16] מחושבת מתוך:

$$(21) \quad m_{a,Br,R} = 6.32 * 10^{-6} \rho_{in} W_B^{0.8}$$

כאשר: ρ_{in} – משקל סגולי של האוויר שבקרבת הפרה ו- W_B – משקל הפרה. בתנאים אלה, צריכת האנרגיה הכוללת [16] מחושבת מתוך:

$$(22) \quad Q_{main,p,R} = 3.4 W_B^{0.75}$$

משמעות הדברים, מצב מנוחה זה עשוי לשמש כמצב ייחוס. לשם הדגמה, מתוך השוואת משוואה זו למשוואה (5), ניתן להצביע על כך שקיימת עלייה של כ- 55% הנובעת מהפעילות השגרתית של הפרה. כמובן, צריכת החמצן תלויה באופן ישיר לצריכת האנרגיה הכוללת. אי לכך ומתוך הנחה שקליטת החמצן הינה בתלות ישירה בספיקת הנשימה, ספיקת הנשימה מתקבלת מתוך:

$$(23) \quad m_{a,Br} = m_{a,Br,R} \frac{Q}{Q_{main,p,R}}$$

בהתאם לכך ובכפוף למשוואות (19) ו- (20), ניתן לחשב את שטף פליטת האנרגיה בנשימה ואדי המים, בהתאמה.

שאר עודפי החום מועברים מבעד לפני גוף הפרה. לצורך אפיון שטפי החום מבעד המעטפת, נגדיר שני מצבים קיצוניים פרווה יבשה ופרוה רטובה.

פרוה יבשה – בתנאים של פרוה יבשה, קיים מעבר חום מוחש ($Q_{SK,SH}$) וכמוס ($Q_{SK,LH}$):

$$(24) \quad Q_{SK} = Q_{SK,SH} + Q_{SK,Lh}$$

כידוע, הפרות מאופיינות בהזעה מוגבלת מאוד. שטף אידי המים מהמעטפת שונה מאזור אחד למשנהו. השטף הכולל ($m_{W,SK}$) [20] נאמד סביב 125 ג למ"ר לשעה סביב התנאים של האוויר בטמפרטורת הגוף ובלחות של כ-58%. כמו כן, נמצא שספיקת האידוי [21] ביחס ישר להפרשי לחץ האדים של המים בטמפרטורת הגוף לבין לחץ האדים של האוויר שסביב הפרה. תוצאות אלה עובדו ומתקבלת המשוואה המקורבת הבאה:

$$(25) \quad m_{W,SK} = 3.163 \cdot 10^{-6} \cdot A_{SK} (P_{SK} - P_w)$$

כאשר: A_{SK} – שטח מעטפת הפרה, P_{SK} – לחץ אדי מי ההזעה השווה במקורב לאלה של האוויר בטמפרטורת הגוף ובתנאי רוויה, P_w – לחץ חלקי של אדי המים של האוויר סביב הפרה. כמצוין, טמפרטורת העור עולה לכדי טמפרטורת הגוף [21] עוד בטרם עליית טמפרטורת הגוף והתחלת ההלחותות, המהווים סימני עקה תרמית. שטח פני המעטפת מתקבל [16] על פי המשוואה:

$$(26) \quad A_{SK} = 0.09 \cdot W_B^{0.67}$$

בתנאים אלה, שטף האנרגיה כתוצאה מההזעה מחושבת מתוך:

$$(27) \quad Q_{SK,LH} = 695 \cdot m_{W,SK}$$

במקביל לכך, קיים מעבר חום מוחש באופנים הבאים: בהולכה ($Q_{SK,Cd}$) ובקרינה ($Q_{SK,R}$) מהעור אל פני הפרוה ומכאן בהסעה ($Q_{F,Cv}$) ובקרינה ($Q_{F,R}$) מהפרוה אל הסביבה. הווה אומר, מתקיים הקשר הבא:

$$(28) \quad Q_{SK,SH} = Q_{SK,Cd} + Q_{SK,R} = Q_{F,R} + Q_{F,Cv}$$

מעבר החום בהולכה מהעור אל הפרוה מתקבל מתוך:

$$(29) \quad Q_{SK,Cd} = \frac{A_{SK} K_a}{\delta_F} (T_{SK} - T_F)$$

כאשר: δ_F – עובי הפרוה, K_a – מקדם ההולכה של האוויר, T_{SK} – טמפרטורת העור ו- T_F – טמפרטורת הפרוה. מעברי החום בקרינה מתקבלים מתוך המשוואות הבאות:

$$(30) \quad Q_{SK,R} = A_{SK} \frac{\sigma(T_{SK}^4 - T_F^4)}{\frac{1}{\epsilon_{SK}} + \frac{1}{\epsilon_F} - 1}$$

$$(31) \quad Q_{F,R} = A_{SK} \epsilon_F \sigma(T_F^4 - T_{Su}^4)$$

כאשר הטמפרטורות במעלות קלווין, ϵ_{SK} ו- ϵ_F – אמסיביות (מקדם הפליטה/בליעה הקרינתית) העור והפרוה בהתאמה, σ – מקדם סטפן-בולטצמן ו- T_{Su} – הטמפרטורה האקווילנטית של הסביבה למעבר חום בקרינה. שטף החום בהסעה ממתקבל מתוך:

$$(32) \quad Q_{F,Cv} = A_{SK} h(T_F - T_{in})$$

כאשר: T_{in} – טמפרטורת האוויר שבמבנה ו- h – מקדם מעבר החום בהסעה. מקדם מעבר החום בהסעה מתקבל מתוך:

$$(33) \quad h = \frac{Nu K_a}{D_B}$$

כאשר: D_B – קוטר אקוויולנטי של הפרה ו- Nu – מספר נוסלט. קוטר הפרה מתקבל מתוך:

$$(34) \quad D_B = \sqrt{\frac{A_{SK}}{\pi}}$$

מספר נוסלט מחושב על ידי:

$$(35) \quad \begin{aligned} Nu &= 0.37 Re^{0.6} Pr_a^{1/3} & 20 \leq Re \leq 150000 \\ Nu &= 2 + 0.37 Re^{0.6} Pr_a^{1/3} & Re < 20 \end{aligned}$$

כאשר: Pr_a – מספר פרנטל של האוויר ו- Re – מספר ריינולדס. מספר ריינולדס מחושב על ידי:

$$(36) \quad Re = \frac{V_a D_B \rho_a}{\mu_a}$$

כאשר: V_a – מהירות האוויר, ρ_a – צפיפות האוויר, μ_a – צמיגות האוויר.

פרווה רטובה – חשוב להדגיש, בשונה ממצב של פרווה יבשה, לא קיים מעבר חום בהזעה ישירות מהעור אלא אידוי מים מפני הפרווה. כמו כן, בשל העובדה שהמים מתאפיינים בבליעה של קרינה תרמית, ניתן להזניח מעבר חום בקרינה מהעור אל פני הפרווה. אי לכך, מעבר חום מהעור אל פני הפרווה קיים בעיקר בהולכה. מעבר החום בהולכה מבעד לפרווה מתקבל בדומה למשוואה (29) אלא שמקדם מעבר החום בהולכה של מים ולא של אוויר:

$$(37) \quad Q_{SK,Cd} = \frac{A_{SK} K_w}{\delta_F} (T_{SK} - T_F)$$

כאשר: δ_F – עובי הפרווה, K_w – מקדם ההולכה של המים, T_{SK} – טמפרטורת העור ו- T_F – טמפרטורת פני הפרווה הרטובה. חשוב להדגיש שבהשוואה לפרווה יבשה, מקדם מעבר החום גדול ועובי הפרווה קטן באופן משמעותי בהשוואה לפרווה יבשה. כמו כן, טמפרטורת פני הפרווה קרובה יותר לטמפרטורת הלח בהשוואה לטמפרטורת היבש של אוויר. שלושת גורמים אלה משפרים באופן משמעותי מאוד את מעבר החום מהעור אל פני הפרווה.

בדומה לפרווה יבשה, מפני הפרווה קיים מעבר חום מוחש בהסעה ובקרינה.

מעבר חום מוחש בהסעה – מתקבל מתוך משוואה (32)

מעבר חום בקרינה – מתקבל מתוך משוואה (31)

לעומת זאת ובמקביל לכך, קיים מעבר חום כמוס. שטף החום בעקבות אידוי המים מתקבל מתוך:

$$(38) \quad Q_{F,Cv,LH} = m\lambda$$

כאשר: m – שטף אידוי המים מפני בעל החיים ו- λ – החום הכמוס של המים ליחידת מסה. קיים דמיון רב באופן החישוב של שטף החום (כמתואר למעלה) לבין שטף של מסה בעקבות דיפוזיה [14, 15], אלא שמספר נוסלט המחושב על ידי משוואה (35) ומוגדר בהתאם:

$$(39) \quad Nu = \frac{K_{wa} D_B}{CD_{wa}}$$

כאשר: K_{wa} – מקדם מעבר מסה בהסעה, D_{wa} – מקדם הדיפוזיה (לצרכים מעשיים ניתן להתייחס למקדם זה כקבוע וערכו $2.29 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$), ו- C – צפיפות מולקולארית של התערובת. צפיפות מולקולארית של התערובת (C) מתקבלת מתוך:

$$(40) \quad C = C_w + C_a = \frac{\rho_w}{M_w} + \frac{\rho_a}{M_a} = \frac{P_t}{R_u(T_{db} + 273.15)}$$

כאשר: M_w משקל מולקולארי של מים, M_a משקל מולקולארי של האוויר, ρ_w צפיפות המים, ρ_a צפיפות האוויר, P_t – לחץ כולל – אטמוספרי (Ps) ו- R_u – קבוע הגז האוניברסלי (8.31434 J/mol K). ומכאן בדומה למשוואה (32) שטף מעבר אדי המים מתקבל מתוך:

$$(41) \quad m = M_w A_s K_{wa} \frac{x_{w0} - x_w}{1 - x_{w0}} = M_w A_s K_{wa} \frac{P_{w0} - P_w}{P_t - P_{w0}}$$

כאשר: x_{w0} – יחס של מספר המולים של אדי המים למספר המולים של תערובת האוויר בתנאי רוויה ובטמפרטורת המים, x_w – יחס של מספר המולים של אדי המים למספר המולים של תערובת האוויר בתנאי הסביבה, P_{w0} – לחץ חלקי של אדי המים בתנאי רוויה ובטמפרטורת המים, P_w – לחץ חלקי של אדי המים של תערובת האוויר ובתנאי הסביבה. תכונות האוויר ניתנים לחישוב בהתאם לטבלאות, עקומות או משוואות הפסיכרומטריה [17, 18]. יש להבחין בין שני המצבים הקיצוניים באשר לאידוי מים מפני בעל החיים: פרווה רטובה – העור והפרווה רטובים לחלוטין או הזעה – הגורמת להרטבת העור בחלקו החיצוני ומתחת לפרווה או הנוצות. אי לכך, מעבר החום של חום כמוס בהסעה יחושב תוך התייחסות לשני מצבים אלה.

מתוך הצבת משוואות (35), (37) ו- (40) במשוואה (41) מתקבל:

$$(42) \quad m = 0.37 \pi D_{wa} \frac{P_t}{R_u(T_{db} + 273.15)} \frac{P_{w0} - P_w}{P_t - P_{w0}} \left(\frac{V_a \rho_a}{\mu_a} \right)^{0.6} D_B^{1.6}$$

כאשר: R_w – קבוע הגז של אדי המים (461.520 J/kg K), ומתקבל מתוך:

$$(43) \quad R_w = \frac{R_u}{M_w}$$

כאשר P_{w0} – לחץ חלקי של אדי המים בתנאי רוויה ובטמפרטורת המים הזהה לזו של פני מעטפת בעל החיים. ניתן לשכתב את משוואה (42) באמצעות הצבת:

$$(44) \quad \frac{P_a}{(T_{db} + 273.15)} = \frac{R_a}{v_a}, \quad \frac{R_a}{R_w} = 0.622$$

ומתקבל:

$$(45) \quad m = 0.37 \pi D_{wa} 0.622 \frac{1}{v_a} \frac{P_t}{P_a} \frac{P_{w0} - P_w}{P_t - P_{w0}} \left(\frac{V_a \rho_a}{\mu_a} \right)^{0.6} D_B^{1.6}$$

לבסוף, מתוך הצבה במשוואה 38 מתקבל שטף החום כמוס בהסעה מהפרווה לאוויר הסובב אותה.

4. מהלך ושיטות עבודה

שנה ראשונה – בשל העיכוב באישור התקציב שהתקבל רק במחצית השנייה של השנה, העבודה התמקדה בעיקר בפיתוח ניתוח התיאורטי (כמפורט למעלה), אפיון מרכיבי המערכת ובאיתור רפת מתאימה. נבחנו משקים רבים ובכול רחבי הארץ, על ידי מרבית חברי צוות המחקר. במסגרת זו, נבחנו ואף נוהל משא ומתן לשילובן בניסוי, הרפתות של הקיבוצים הבאים: גת, רביבים, טללים, קמה, ניר עוז, כינרת, יפעת, יזרעאל ושדה אליהו. בחינה זו התבססה על השיקולים העיקריים הבאים: רמת ההתאמה של המבנים הקיימים לביצוע המחקר, עמידה בתקציבי המחקר, האפשרות להעמדת מבנה לקבוצת הניסוי ולקבוצת הביקורת ורמת העניין ושיתוף הפעולה מצד חברי המשק. תחילה, הגענו לשלבי סיכום עם רפת יזרעאל ומסיבות שונות, לא יצא לפועל ונאלצנו להמשיך בתהליך החיפוש. כתוצאה מכך, נבחרה הרפת בקיבוץ שדה אליהו. על בסיס זה נעשה תכנון ראשוני ונקבע מפרט טכני להתאמת המבנה לצורכי הניסוי. בהתאם לכך, צורף לצוות המחקר מר ציון דקו מחוות בית שאן. כמו כן ובכפוף למגבלות התקציב, הוחל בהזמנת הציוד הנדרש.

שנה שנייה – בשנה זו העבודה התמקדה בשלוש משימות עיקריות: המשך ניתוח התיאורטי, התקנת המערכות ברפת הניסויית הממוקמת בשדה אליהו ומעקב אחר הביצועים ברפתות של הקיבוצים יהל וגרופית.

המשך ניתוח תיאורטי – על בסיס הניתוח התיאורטי המפורט בדו"ח של השנה הראשונה, חושבו ביצועי הפרות כתלות בתנאי האקלים שבקרבתם עבור תנאים בהם הפרות יבשות או רטובות כמפורט בטבלאות 1 ו-2, בהתאמה.

התקנת המערכות ברפת הניסוי – לאחר שהרפת בקיבוץ שדה אליהו אותרה והובעה הנכונות לשיתוף פעולה מצד כל הגורמים המעורבים, נבחרו שתי סככות זהות (אורך – 95 מ', רוחב 25 מ' ושטח כולל 2375 מ"ר) כאשר אחת משמשת כביקורת והשנייה לטיפול (במתכונת המוצעת כמתואר למעלה). סככת הטיפול הוסבה והתקנו בה המערכות כמתואר בתמונות 1 ו-2, ועל פי הפירוט הבא:

- **סגירת סככת טיפול** – סגירת המבנה נעשתה באמצעות יריעה מחוזקת, מולבנת ואטומה. שתי הדפנות (המזרחית והמערבית) נסגרו באופן קבוע. דפנות הצפונית והדרומית חולקו כל אחת לאורך לשני חלקים, החלק העליון נסגר ביריעה קבועה והחלק התחתון באמצעות ווילונות הניתנים לסגירה ופתיחה. דופן דרומית פתיחה מגובה הקרקע ולעומת זאת דופן צפונית פתיחת ווילון מגובה העול. הווילונות מצוידים במנועים חשמליים הנשלטים על ידי הבקר או באופן ידני.
- **מערכת ערפול** – הותקנו ארבעה קווי ערפול בחלוקה לשני צמדים המותקנים בשני צידי הסככה. כל צמד כלל כמחצית מפומיות הריסוס עם חלוקה של 140 ו-70 פומיות ריסוס כל צמד. בקצה כל קו פומיות מותקן ברז חשמלי. משאבה אחת (21 ליטר לדקה 7.5 כ"ס) המונעת באמצעות משנה תדר ושלוש משאבות (15 ליטר לדקה, 5 כ"ס כל אחת) המחברות לסעפת וממנה לארבעת קווי הפומיות.
- **מערכת סחרור** – 5 מסחררים בקוטר של כ-7.5 מ', ספיקה של 730000 מ"ק לשעה כל אחד (REV24) – הספק של 1.5 ק"וואט כל אחד).
- **מערכת אוורור** – אוורור טבעי באמצעות שליטה על גובה הווילונות הדרומי והצפוני.
- **בקר אקלים** – הותקן בקר אקלים מעבדתי (תוצרת National Instrument, דגם: CompactRIO, הכולל: בקר Real-time 9023, יחידות NI-9213 למדידת תרמוקפלים, יחידה לכניסות אנלוגיות NI-

9203, יחידה ליציאות אנלוגיות NI-9265, יחידה לכניסות דיגיטליות NI-9421 ויחידה ליציאות

דיגיטליות (NI-9477) לשליטה על המערכות השונות ואשר תוכנת בשפת LabView.

מעקב אחר ביצועי רפתות יהל וגרופית – בכפוף לשיטת הצינון המוצעת, שתי סככות הממוקמות בקיבוצים גרופית ויהל, הותאמו והותקנו בהן המערכות השונות, בהתאם לפירוט הבא:

קיבוץ גרופית – כמתואר בתמונה 3, סככה כוללת, באורך של 90 מ' (מזרח מערב) ורחב 23.5 מ' (שטח כולל 2115 מ"ר) הוסבה ע"פ הפירוט הבא:

- **סגירת מבנה** – שתי הדפנות (המזרחית והמערבית) נסגרו באמצעות פחים באופן קבוע דופן מערבית החל מגובה של כ- חצי מטר ודופן צפונית מגובה העול. לעומת זאת, הדפנות הצפונית והדרומית נותרו פתוחות לחלוטין.

- **מערכת ערפול** – ארבעה קווים זהים עם 100 פומיות ריסוס (דיזות – 6.6 ליטר לשעה) כל קו, שתי משאבות (30 ליטר לדקה, 10 כ"ס כל אחת) המחוברות לשני קווים כל אחת, ניתן להפעיל כל משאבה לחוד ושתייהן ביחד.

- **מערכת סחרור** – 14 מסחררים (הספק של 1.5 כ"ס הנעת רצועות), בקוטר של 2 מ' ובחלוקה לשתי קבוצות.

- **מערכת אוורור** – אוורור טבעי ללא שליטה.

קיבוץ יהל – כמתואר בתמונה 4, סככת קורל, באורך של 80 ורחב 24 מ' הוסבה ע"פ הפירוט הבא:

- **סגירת מבנה** – רשת צל בתקרה – שנמתחה בין סככת הקורל לפס האבסה. סגירת ארבעת דפנות באמצעות פחים הניתנים לפתיחה באמצעות הרמה וסיבוב סביב ציר.

- **מערכת ערפול** – חמישה קווים זהים עם 80 פומיות ריסוס (דיזות – 6.6 ליטר לשעה), שתי משאבות (30 ליטר לדקה, 10 כ"ס כל אחת – כאשר אחת מחוברת לשני קווים והשנייה לשלושה קווים), ניתן להפעיל כל משאבה לחוד ושתייהן ביחד. בנוסף לכך, המשאבות מופעלות באמצעות משנה תדר לוויסות ספיקת המים.

- **מערכת סחרור** – 15 מסחררים (הספק של 1.5 כ"ס, הנעה ישירה), בקוטר של 2 מ' ובחלוקה לשלוש קבוצות והמופעלות באמצעות משנה תדר – כל קבוצה לחוד.

- **מערכת אוורור** – אוורור טבעי עם שליטה באמצעות סגירת ארבעת הדפנות.

בשני המשקים הפעלת המערכות נעשתה באופן ידני ועל פי שיקול דעתם של הרפתנים.

שנה שלישית – שנה זו יוחדה בעיקר לאפיון הביצועים המתקבלים בשני המשקים שדה אליהו ויהל ובהשוואה לביקורת. בשנה זו הותקנה מערכת בקרה שהינה פיתוח משותף של מינהל המחקר החקלאי וחברת "שגב אמיטק" (הסכם מספר 10/166). בהתאם לכך, מערכת בקרה זו מהווה מערכת מומחה המשלבת בקרה, ניהול מידע, דוחות והתראות. מערכת זו נקראת AGROEXPERT 2D CLIMATE CONTROL. בנוסף לתנאים האקלימיים, נערך מעקב אחר תנובת החלב והפוריות, התנהגות רביצה, טמפרטורת גוף וקצב הנשימה של הפרות. לצורך זה, בשני המשקים, הוקצו לקראת תחילת העונה הפרות באופן אקראי על פי מס' התחלובה וימים מהמלטה לאחת משתי סככות – טיפול וביקורת. החל מחדש מאי ועד תום הניסוי בחודש ספטמבר, נכנסו הפרות שהמליטו לאחת משתי

הקבוצות לסירוגין על פי הקריטריונים לעיל. כל הפרות צוידו בתגים המאפשרים מדידת זמן רביצה ומספר רביצות (אפיאקט פלוס תוצרת צ.ח.מ. אפיקים). הנתונים של כל פרה נאספו בכל חליבה ומתוכם חושבו הנתונים היומיים. השתנות הטמפרטורה הוגינאלית של הפרות בשתי קבוצות הניסוי נמדדה בשני מועדים לאורך הקיץ במשך 3 ימים, באמצעות אוגרי נתוני טמפרטורה (אנ"ט) מדגם Thermochron iButton של חברת Maxim, הניתנים לשימוש חוזר שכוילו בטמפרטורה של 39°C ו- 41°C . אוגר הנתונים הוכנס בחריץ מתאים בהתקן וג'ינאלי- CIDR (ריק מפרוגסטרון), שהוחזר לנרתיק הפרה. עם סיום המדידה, נקראו הנתונים שנשמרו באנ"ט והועברו לקובץ אקסל להצגה גרפית. כמו כן, נמדד במשך יומיים קצב הנשימה של הפרות בשתי קבוצות הניסוי במועדים שונים לאורך היממה.

5. תוצאות ודיון

שנה ראשונה – על בסיס הניתוח התיאורטי וכמפורט בדו"ח לשנה זו, נעשה תחשיב של שטף החום של הפרה כתלות בתנובת הפרה ושטפי החום מהפרה לסביבתה כאשר הפרה יבשה וכאשר הפרה רטובה. כמו כן, נעשה תחשיב של עומסי החום של המבנה בהתאם לרמת הבידוד של המבנה. לצורך ההדגמה נעשה חישוב עבור פרות יבשות ופרות רטובות כמתואר בטבלאות 1 ו- 2, בהתאמה. כמתואר בטבלה 1, שטפי חום של הפרה וכתוצאה מכך תנובת החלב שלה חושבו בתנאים בהם: הפרווה יבשה, טמפרטורת עור 38.5°C מ"צ וטמפרטורת סביבה האקוויולנטית למעבר חום בקרינה, זהה לטמפרטורת האוויר שבסביבה. על פי התוצאות נראה שתנובת החלב גדלה ככול שהפרווה דקה יותר, שמהירות האוויר בקרבת הפרה גבוהה יותר וטמפרטורת האוויר נמוכה יותר. בדומה לכך וכמתואר בטבלה 2, חושבו שטפי חום וטמפרטורת העור עבור פרווה רטובה ובעלת עובי של 5 מ"מ , טמפרטורת סביבה האקוויולנטית למעבר חום בקרינה, זהה לטמפרטורת האוויר שבסביבה ותנובת חלב של $60\text{ ו-}80\text{ ק"ג ליום}$ (סה"כ הפסדי חום $2039\text{ ו-}2524$ וואט, בהתאמה). ראשית חשוב לציין את שטפי החום בהולכה הגדלים באופן משמעותי בהשוואה למצב של פרווה יבשה (בשל מקדם מעבר החום בהולכה של המים הגדול פי 25 משל האוויר). התוצאות מצביעות על שטף אידיאלי גדול יותר ככול שטמפרטורת האוויר יותר גבוהה וככול שהלחות נמוכה יותר. חשוב להדגיש את ההבדל המשמעותי המתקבל בין שטף האידיאלי של הפרה בתנאים הנהוגים כיום (טמפרטורות גבוהות ויבש) לעומת התנאים המתקבלים במתכונת המוצעת (טמפרטורות נמוכות ולח). משמעות הדברים – במתכונת המוצעת, הפרה נשארת רטובה למשך זמן ארוך יותר ואין צורך בהרטבתה לעיתים תכופות. כמובן, שמשך הזמן בין הרטבה אחת לשנייה תלוי בתכולת המים שהפרווה עשויה להכיל. שטפי חום אלה מתחוללים במקביל ובטור בעת ובעונה אחת. כמו כן, הפרות עשויות להיות בטווח בין שני תנאים קיצוניים אלה (רטובות ויבשות). תוצאות אלה מצביעות באופן ברור על חשיבות מהירות האוויר על מנת להפיג את עודפי החום מהפרה גם בתנאים המיטביים שעתידיים להקנות באמצעות מערכת הערפול. הווה אומר, שילוב של שלושת המערכות ערפול, אוורור וסחרור עשויים להגדיל את תנובת החלב בימים החמים בהשוואה למקובל כיום. בנוסף לכך, תנאים אלה עשויים למתן את שטף אידיאלי המים מהפרה ולשמור אותה רטובה למשך זמן ארוך יותר בהשוואה לנהוג כיום.

שנה שנייה – בשל ההתקנה החלקית של המערכת ברפת קיבוץ גרופית, התוצאות המובאות בזאת מתמקדות ברפת קיבוץ יהל בלבד. התוצאות שהובאו התמקדו בשיפורים שהתקבלו בתנאי האקלים בהשוואה לסביבה ובביצועי הפרות בהשוואה לסככות האחרות.

תוצאות אקלימיות – התאמת המבנים והתקנת המערכות בקיבוץ יהל הושלמה לקראת אמצע יולי. המערכות תופעלו באופן ידני ובהתאם למתכונת הבאה: עם בוקר סגירת חלקית של המבנה לרמה הרצויה והפעלת חלקית של מערכת הערפול ומערכת סחרור האוויר. במהלך היום ובכפוף לשינויי הטמפרטורה, המבנה נסגר יותר והוגברה הפעלתן של מערכות הערפול והסחרור, באופן הדרגתי. לקראת החשכה המערכות הערפול וסחרור מופסקות באחת והמבנה נפתח. על פי התוצאות שהתקבלו ניתן להצביע על כך שטמפרטורת המבנה במהלך ימות הקיץ, עשויה לנוע בתחום של 18 מ"צ בשעת הזריחה עד 26 מ"צ בצהרי היום. בהתאם לתוצאות אלה ניתן להצביע על כך שהמבנה תופעל באופן חלקי הן בשל חוסר ההפעלה המוחלטת במהלך שעות הלילה, והן בשל חוסר מיצוי הפוטנציאל של המערכות השונות במהלך שעות היום. אי לכך, לא התקבלו התוצאות האקלימיות המיטביות העשויות להתקבל.

ביצועי הפרות – ברפת יהל ניתן היה להשוות את ביצועי הפרות בשתי הסככות כאשר האחת אוכלסה בפרות שקבלו צינון קונוונציונלי (ביקורת) ובאחרת בפרות שקבלו את הצינון המוצע (טיפול). נראה בעליל שירידת התנובה היחסית והמוחלטת הייתה קטנה יותר בקבוצת הטיפול. התוצאות הצביעו על כך שכאשר הוחל בצינון והעבירו פרות באופן אקראי על פי זמן המלטה ומספר התחלובה לאחת משתי הסככות, ביצועי הפרות בסככה בה צוננו הפרות בשיטה החדשנית גבוהים בכדי 2 ק"ג חלב ליום מאלה של הפרות שצוננו בצורה הקונבנציונלית. יש לקחת בחשבון שביצועי הפרות בשיטת הצינון החדשנית התקבלו ללא הפעלת הצינון במהלך שעות הלילה. נדגיש, שבשום מקרה לא הצטברו מים במידרכים והזבל נשאר יבש.

שנה שלישית – כהמשך לשנה השנייה, העבודה בשנה זו התמקדה באפיון תנאי האקלים ובביצועים של הפרות בשני המשקים שדה אליהו ויהל.

תנאי אקלים רפת קיבוץ שדה אליהו – תנאי ההפעלה ותנאי האקלים שהתקבלו בפועל כמתואר באיורים 2 עד 5 ובהתאם לפירוט הבא: באיור 2 מובאים התוצאות שהתקבלו מתאריך 2012-6-2, המתאפיין בכך שעד השעה 12 ספיקת מי הערפול השתנתה בעוד שטמפרטורת האוויר בסככת הטיפול נשמרה סביב- 25 מ"צ ולחות של כ- 75% בהתאם לתכנון. לאחר שעה זו הטמפרטורה עלתה לכדי 29 מ"צ, הלחות היחסית ירדה על אף שספיקת מי הערפול הייתה המקסימאלית האפשרית. שינוי זה התקבל בשל השינוי שחל במהירות הרוח וניתן להצביע על כך שהשינוי זה גדל ככול שמהירות הרוח גדלה. תופעה זו מצביעה על כך שסגירת המבנה באמצעים שנעשו כמפורט למעלה אינם מספקים וספיקת האוויר אינה בשליטה מלאה. כתוצאה מכך, ההבדלים בטמפרטורות הלח הינם במגמה הפוכה. בנוסף לכך, טמפרטורות המבנה עלתה לכדי 34 מ"צ בתנאים בהם טמפרטורות הלח של הסביבה עלתה לערכים מעל ל- 26 מ"צ, כמתואר באיור 3. תופעה זו החמירה בימים בהם טמפרטורות הלח של הסביבה הייתה גבוהה במהלך מרבית שעות היממה (איור 4). ערכי טמפרטורות לח אלה ואף מעבר לכך, היו בשגרה החל מאמצע יוני ועד תחילת אוקטובר. חשוב להדגיש, שנתוני אקלים שנצפו שונים מאוד מנתוני אקלים רב שנתיים של השירות המטאורולוגי (קיבוץ טירת צבי), המצביעות על כך שטמפרטורות לח מקסימאלית ומינימאלית-מקסימאלית שנתיות עומדות על כ- 24 ו- 20 מ"צ, בהתאמה. בנוסף לכך, תוצאות אלה מצביעות שעומס החום שמקורו בתקרה ובדפנות מהווה מעל כ- 70% מעומס החום הכולל של המבנה. הערכה זו, מבוססת על תוצאות הניתוח התיאורטי המתואר

לעיל באמצעות תחשיב של החלפות האוויר בכפוף לספיקת המים המתאדים (מערפול ומהרפד) ובהתאם לכך, הרחקת עודפי החום הנגרמת באמצעות החלפת אוויר זו. מוצע להימנע מעודפי עומס חום זה באמצעות בידוד המבנה ובכך להקטין את צריכת המים ולשפר את רווחת הפרה.

תנאי אקלים רפת קיבוץ יהל – בניגוד לתוצאות המאכזבות שהתקבלו ברפת שדה אליהו, ככלל טמפרטורת האוויר שהתקבלה במבנה נעה בתחום 22 – 26 מ"צ, כמתואר באיורים 5 – 7. באיור 5 מובאים נתוני האקלים בתאריך 20-8-2012, המתאפיין בטמפרטורה ולחות של הסביבה בצהרי היום של 39 מ"צ ו- כ- 15%, בהתאמה. בתנאים אלה טמפרטורת הלח של הסביבה הינה כ- 19 מ"צ, טמפרטורת המבנה נעה בתחום של כ- 22 עד 24 מ"צ (ראה איור a5), ולחות היחסית במבנה נשמרה על כ- 85% כפי שהוצב כערך נדרש (ראה איור b5) ובהתאם לכך ניתן להראות שטמפרטורת הלח במבנה נעה בתחום של כ- 20 עד 22 מ"צ. מסיבות וכמתואר ממשקיות בלבד, המבנה צונן החל משעה תשע בבוקר עד תשע בערב. על פי תוצאות אלה נראה שהיה ניתן לשמור במהלך שעות הלילה על טמפרטורה בתחום של כ- 20 עד 22 מ"צ ובכך לשפר את רווחת הפרה. חשוב להדגיש שמערכות ההפעלה הופעלו בצורה הדרגתית, כמתואר באיורים c5 ו- d5. על פי תוצאות אלה ניתן להצביע על כך שמספר השינויים בהפעלה של קווי הערפול והמשאבות במהלך כל שעות ההפעלה היה נמוך ועמדו בתחום שבין עשר לעשרים, ומספר ההפעלות בפתיחת וסגירת הדפנות עלה לכדי מאה. תוצאות אלה מצביעות על כך שהבקרה פעלה היטב הן מבחינת שמירה על ספי הפעולה מחד גיסא, והן במניעת הפעלות מיותרות לגורמות לבלאי מוגבר של המערכות מאידך גיסא. כמתואר באיור 6, תוצאות דומות מתקבלות גם למחרת, אלא שטמפרטורת המבנה עולה בכדי 2 מ"צ בשל העלייה בלחות היחסית של הסביבה של כ- 7% ולעליה בטמפרטורת הלח של הסביבה בכ- 2 מ"צ. כמו כן, לירידה בטמפרטורת המבנה עם ירידת הלחות היחסית של הסביבה והגדלת הפרש הטמפרטורה בין הסביבה למבנה, לכדי 18 מ"צ, כמתואר באיור 7. לקראת סוף חודש ספטמבר הרפתן מסיבותיו הוא, החליט לקצר את שעות ההפעלה בעיקר בשעות הבוקר, כמתואר באיור 8. כמתואר באיור 9, הפרש טמפרטורה המקסימאלי בין פנים המבנה לבין הסביבה שהתקבל במשך שעות היום (בין עשר בבוקר עד שמונה בערב), החל מתאריך 10-8-2012 עד לתאריך 24-9-2012, נע בתחום של 10 עד 19 מ"צ ובמוצע כ- 15 מ"צ. על פי תוצאות אלה נראה שבדומה לתחשיב מקורב שנעשה לרפת שדה אליהו (ראה למעלה), עומס החום שמקורו בתקרה ובדפנות מהווה כ- 70% מעומס החום הכולל של המבנה. כמו כן, מספר השינויים היומי בהפעלה של קווי הערפול, המשאבות ופתיחת או סגירת הדפנות כמתואר באיור 10. על פי תוצאות אלה, נראה שהערכים הממוצעים לתקופה זו עומדים על 18, 17 ו- 60 שינויים ליום, בהתאמה. ערכים אלה נמוכים על פי כל קנה מידה ומצביעים על כך שמערכת הבקרה (שפותחה במשותף עם חברת "שגב אמיטק") פעלה היטב ולא גרמה לשינויי הפעלה מיותרים. זאת, בנוסף לכך שהטמפרטורות שהתקבלו בפועל היו נמוכות למדי והלחות היחסית שהתקבלה בפועל הייתה בסטייה קטנה מהסף שנקבע כרצוי (פחות משני אחוז במוצע).

על פי תוצאות אלה, ההבדלים בין שני המבנים הסגורים בשדה אליהו ויהל נובעים כתוצאה משני הגורמים העיקריים הבאים:

- סגירת המבנה – המבנה בקיבוץ יהל ואופן סגירתו אפשרו שליטה טובה יותר בספיקת האוויר, במרבית שעות ההפעלה ובמרבית ימות הקיץ.
- טמפרטורת לח של הסביבה – אשר בקיבוץ יהל נמוכה באופן משמעותי מזו בקיבוץ שדה אליהו

יחד עם זאת וחשוב לציין שגם עבור המבנה שבקיבוץ יהל, יש מקום לשיפור משמעותי הן ברווחת הפרה והן בצמצום צריכת המים והאנרגיה, באמצעות בידוד המבנה והפעלתו במהלך כל שעות היממה. לאור זאת, התוצאות שהתקבלו באשר ל- תנובת חלב, פוריות, משך רביצה, קצב נשימה וטמפרטורת הגוף של הפרות מתמקדות ברפת של יהל בהתאם לפירוט הבא:

- **תנובת חלב** – תנובת החלב הייתה 40.62 ± 0.94 ו- 38.49 ± 1.42 ק"ג ליום בממוצע בחדשים יוני עד ספטמבר בפרות בסככת הניסוי והביקורת בהתאמה. הפרש התנובה היומית בממוצע שבועי ($P < 0.001$) מוצג באיור מס' 11, ומבטא גם את השפעת השינויים האקלימיים על יעילות ממשקי הצינון בשתי הסככות. בחודשים יולי עד ספטמבר הניבו הפרות בסככת הניסוי כ- 2.5 ק"ג ליום יותר מאשר הפרות בסככת הביקורת. הפרות בסככת הניסוי הניבו יותר בכל אחת משלושת החליבות במשך היממה. הרכב החלב של הפרות בשתי הסככות היה דומה.
- **פוריות** – במשך תקופת הניסוי בוצעו 67 הזרעות בקבוצת הניסוי ו-53 הזרעות בקבוצות הטיפול. שיעורי ההתעברות מכלל ההזרעות היו: 37.9% ו-26.4% אצל פרות הטיפול בהשוואה לפרות הביקורת, הווה אומר עלייה של כ- 43% בשיעור התעברות בהשוואה לקבוצת הביקורת.
- **התנהגות רביצה** – כמתואר באיור 12, הפרות בסככת הניסוי רבצו יותר זמן מאשר בסככת הביקורת, במיוחד בשעות אחה"צ בהן עקת החום היא מירבית. מספר הרביצות היה נמוך יותר אצל הפרות בסככת הניסוי, דבר שהביא לכך שמשך כל רביצה היה ממושך יותר בסככת הניסוי.
- **קצב נשימה** – בבוקר קצב הנשימה של הפרות בשתי הקבוצות היו דומות. במדידה שנערכה בשעה 1600 נמצא שקצב הנשימה של פרות הטיפול היו נמוכות יותר באופן משמעותי (55/דקה), בהשוואה לקצב הנשימה של פרות הביקורת (80/דקה).
- **טמפרטורת גוף** – השתנות הטמפרטורה הוגינאלית במשך היממה של הפרות בשתי קבוצות הניסוי מתוארת באיור 13. בהתאם לכך, עולה שבפרק הזמן בין חליבת הבוקר ועד שעות הצהריים (כ-8 שעות בלבד) הטמפרטורה הוגינאלית של הפרות בקבוצת הביקורת הייתה נמוכה מ- 39.0 מ"צ, שהוא סף טמפרטורת גוף בתחום הנורמטרי. החל משעות הצהריים, הפרות בקבוצת הביקורת מציגות תנודתיות רבה בטמפרטורה הוגינאלית בעקבות הצנונים היזומים, וערכי השיא שלה הגיעו לרמה של 39.8 מ"צ. לעומת זאת, הטמפרטורה הוגינאלית של הפרות בקבוצת הטיפול נשמרה נמוכה מ- 39.0 מ"צ בפרק זמן ממושך יותר במשך היממה (כ-16 שעות), עד להפסקת הצינון בסככה והוצאת הפרות לחצר. בשעות הלילה כשפרות בשתי הקבוצות שהו מחוץ לסככה, עולה הטמפרטורה הוגינאלית לרמות של 39.6 מ"צ בקבוצת הטיפול ו- 40.0 מ"צ בקבוצת הביקורת. יתכן מאוד, שהפעלת הצינון בסככת הטיפול גם בשעות הלילה, הייתה מונעת את העלייה של טמפרטורת הגוף ומאפשרת לשמור את טמפרטורת גוף בתחום הנורמטרי במשך כל שעות היממה. בהקשר זה, ראוי לציין שמניעת העלייה בטמפרטורת הגוף אפילו לשעות בודדות במשך היממה, עשויה לצמצם את הסיכון של תמותת העובר בשלבי התפתחות מוקדמים שלו, ולשפר בכך את סיכויי ההתעברות של הפרה.

היתכנות כלכלית – התחשיב הכלכלי שנערך מבוסס על התוצאות שהתקבלו ועל סמך ההנחות הבאות:

- השיטה המוצעת תופעל באזור הערבה במשך 120 ימים בשנה.
- הגדלת תנובת חלב ב- 2.5 ק"ג ליום לפרה.
- הפיכת סככה קונבנציונלית לשיטת הערפול עולה כ- 360,000 ₪ לקבוצה של כ- 100 פרות. עלות זו כוללת מסחררים, מערכת ערפול, בקר וסגירת הסככה. זאת, בהשוואה לעלות של כ- 100,000 ₪ למסחררים וערפול קונבנציונליים.
- מחיר מ"ק מים - 1.5 ₪ וקבוצת הטיפול השתמשה בעוד 2 מ"ק מים ליום. עלות סילוק מ"ק ביוב - 3.5 ₪ (קבוצת הטיפול יצרה 23 מ"ק ביוב פחות ליום בחצר המתנה).
- עלות שעת עבודה להבאת הפרות לחצר המתנה היא 30 ₪. בקבוצת הטיפול יש חסכון של $1\frac{1}{3}$ שעות עבודה ביום (לא מביאים פרות לחצר המתנה בין החליבות); יחד עם זאת, שיטת הערפול דורשת תוספת עבודה של עובד יותר מקצועי (40 ₪ לשעת עבודה) לחצי שעה ביום כך שסך חסכון לעבודה של קבוצת הטיפול היה 20 ₪ ליום.
- קבוצת הטיפול צרכה 176 קילואט שעה חשמל יותר ביום, בעלות של 0.5 ₪ לקילואט שעה. חשוב לציין, שאם משתמשים במסחררי תקרה החיסכון בחשמל גדול וההפרש משיטה הקונבנציונלית יורד ל- 56 קילואט שעה ביום בלבד.

כתוצאה מכך, קיים חסכון יומי של 9.5 ₪ ביום בשיטת הערפול. אם המשק היה משתמש במסחררי תקרה, החיסכון היה כ- 69.5 ₪ ביום עקב ניצול חשמל יותר יעיל. בתנאים אלה וכמתואר באיור 14, התחשיב הכלכלי נערך עבור שלושה חלופות: רגילה – תמורה של 95% ממחיר המטרה, פסימית – תמורה של 80% ממחיר המטרה ו אופטימית – מחיר מטרה ובתוספת 60 אגורות לק"ג. בהתאם לכך וכמתואר באיור 14 (a), תקופת ההחזר עומדת על 9.7, 13.5 ו- 6.2 שנים, בהתאמה. כמובן, ששימוש במסחררי תיקרה מקצר את תקופת ההחזר, כמתואר באיור 14 (b). חשוב לציין שתקופת ההחזר מתקצרת בשל קיזוז ההשקעה במתקנים הנהוגים (100000 ₪ כמפורט למעלה), כמתואר באיורים 14 (c) ו- (d), בהתאמה. חשוב להדגיש, שבתחשיב זה לא שוקללו התמורות הכלכליות הנובעות משיפור הפוריות הבאה לידי ביטוי בעליה של כ- 43% בשיעור ההתעברות, בהשוואה לביקורת.

6. סיכום ומסקנות

במהלך שלושת השנים העבודה התמקדה בעיקר בפיתוח ניתוח התיאורטי, אפיון מרכיבי המערכת, באיתור רפתות מתאימות, התקנת המערכות ברפת הניסיונית שבשדה אליהו ומעקב אחר הביצועים שהתמקדו בעיקר ברפתות של הקיבוצים שדה אליהו ויהל. על פי התוצאות האקלימיות שהתקבלו, נראה שבעוד שהביצועים שהתקבלו בקיבוץ שדה אליהו היו מאכזבים הרי בקיבוץ יהל היו מעודדים מאוד. הביצועים המאכזבים שהתקבלו בקיבוץ שדה אליהו נבעו משתי סיבות עיקריות: תחלופת אוויר גבוהה בסככה – בשל משבי הרוח המקומיים וחוסר השליטה בסגירת המבנה וכתוצאה מכך עלתה הטמפרטורה וירדה הלחות היחסית, וטמפרטורות הלח הגבוהות – במרבית שעות היממה וללא כל השוואה לתנאים המטאורולוגיים הממוצעים הרב שנתיים המקומיים. לעומת זאת, בקיבוץ יהל במרבית ימות הקיץ טמפרטורת האוויר בסככה לא עלתה על 26 מ"צ ובמרבית שעות היום הייתה סביב ה- 24 מ"צ. מערכת הבקרה (AGROEXPERT 2D CLIMATE CONTROL) פעלה היטב הן מבחינת שמירה על ספי

הפעולה, מחד גיסא, והן במניעת הפעלות מיותרות ולמניעת הבלאי המוגבר הנלווה לכך, מאידך גיסא. מערכת הצינור הופעלה באופן חלקי, החל משעה 9 בבוקר ועד לשעה עשר בערב. בנוסף לכך, ניתן לראות שמרבית עומס החום בשני המבנים הניסיוניים, מקורו בקירות ובגג החמים בשל קרינת השמש וטמפרטורות הסביבה. אי לכך, מבנה מבודד עשוי להוביל הן לשיפור ניכר בביצועים של הפרות והן לחיסכון משמעותי בתשומות הצינור. על פי תוצאות אלה ניתן להצביע על המסקנות העיקריות הבאות:

1. טמפרטורת הסף התחתון בתוך המבנה שניתן להגיע אליה בתנאי הערבה במהלך ימות הקיץ, עשויה לנוע בתחום של 19 מ"צ בשעת הזריחה עד 24 מ"צ בצהרי היום.
2. הפעלה חלקית של שיטת הצינור המוצעת הגדילה את תנובת החלב בכדי 2.5 ק"ג ליום לפרה.
3. שיפור משמעותי בשיעור התעברות הפרות (מעל 40%).
4. מערכת הבקרה פעלה היטב הן מבחינת שמירת ספי הפעולה והן מבחינת מניעת בלאי של מערכות ההפעלה.
5. שיפור משמעותי ברווחת הפרה הבא לידי ביטוי במגוון רחב של פרמטרים הכוללים: קצב נשימה, טמפרטורת גוף, זמן רביצה ומספר רביצות.
6. היתכנות כלכלית גבוהה.
7. בידוד המבנה עשוי לתרום תרומה נוספת הן לרווחת הפרה והן בהוזלת עלות התפעול.
8. מומלץ להמשיך במחקר ולהתמקד בפיתוח ובחינת מבנה המותאם מלכתחילה לשיטת הצינור המוצעת והמהווים מכלול שלם.

הבעת תודה

תודתנו נתונה לצוותי הרפתות על שיתוף הפעולה ולמחלבת שטראוס על הסיוע במימון.

רשימת ספרות

1. Press T. F. (1984). Propagation: fog not mist. Combined Proceedings, *International Plant Propagators' Society*, 33: 100-109
2. Giacomelli G. A., Giniger M. S., Krass A. E., Mears D. R. (1985). Improved methods of greenhouse evaporating cooling. *Acta Horticulturae*, 174: 49-55
3. Giacomelli G. A., Roberts W. (1989). Try alternative methods of evaporative cooling. *Acta Horticulturae*, 257: 29-40
4. Arbel A., Yekutieli O. and Barak M. (1999). Performance of a fog system for cooling greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research* 72:129-136.
5. Arbel A., Shklyar A. and Barak M. (1999). Buoyancy-driven ventilation in a greenhouse cooled by a fogging system. *Acta Horticulturae* 534:327-334.
6. Arbel A., Barak M. and Shklyar A. (2002). Combination of forced ventilation and fogging systems for cooling greenhouses. *Biosystems Engineering* 84:45-55.

7. Montero J. I., Anton A., Beil C., Franquet A. (1990). Cooling of greenhouses with compressed air fogging nozzles. *Acta Horticulturae*, 281: 199-209
8. Lemeschkina E. M. (1984). Reducing excessive air temperature in greenhouses. *Mekhanizatsiya i Elektrifikatsiya Sel'skogo Khozyaistva*, 9: 60-61 (in Russian)
9. Giacomelli G. A., Krass A. E. (1985). Greenhouse fog evaporative cooling using a movable boom. *American Society of Agricultural Engineers*, 85: 4530-4545
10. Smith L. (1958). How to design controlled environment for best greenhouse growing conditions. *Heating, Piping and Air Conditioning*, 66: 41-46
11. Willits D H Greenhouse cooling. North Carolina Flower Growers' Bulletin 1993, 38(2): 15-18
12. Al-Jamal K. (1994). Greenhouse cooling in hot countries. *Energy*, Oxford, 19(11): 1187-1192
13. MecAdams W. H. (1853). Heat transmission, 3rd ed. McGraw-Hill Book Company Inc, New York
14. Kreith F. (1965). Principles of heat transfer, International Textbook Company, Scranton, Pennsylvania
15. Bird R. B., Stewart W. E. and Lightfoot E. N. (1960). Transport phenomena, John Wiley & Sons, Inc, New York
16. Schmidt-Nielsen K. (1984). Scaling, why is animal size so important. Cambridge University Press
17. ASHRAE (1996). Handbook of Fundamentals, Chapter 6. New York
18. ASHRAE STANDARD (1994). An American National Standard Method for Measurement of Moist Air Properties. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA.
19. Arbel A., Barak M. and Shklyar A. (2003). Numerical method for calculation of moist air thermodynamic properties, according to different parameters and at wide range, Mikun Vehandasa Bachaclaut, 3:39-45 (in Hebrew).
20. McLean J. A. (1963). Measurement of cutaneous moisture vaporization from cattle by ventilation capsules. *J. Physiol.* 167: 417-426.
21. McLean J. A. (1963). The partition losses of body weight and heat from cattle under various climatic conditions. *J. Physiol.* 167: 427-447.
22. Kadzere C. T., Murph M. R., Silanikove N. and Maltz E., (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review, *Livestock Production Science*, 77 59-91.

23. Berman A., Folman Y. M., Kaim M., Mamen Z., Herz D., Wolfeson A. and Graber Y., (1985). Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a tropical climate. *J. Dairy Sci.* 68, 488-495.
24. Hamanda T., (1971). Estimation of lower critical temperatures for dry and lacting dairy cows. *J. Dairy Sci.* 54, 1704-1705.
25. Brbertshaw D., Vercoe J. E., (1980). Scrotal thermoregulation of the bull (*Bos spp.*). *Aust. J. Agric. Res.* 31, 401-407.
26. Blazquez N. B., Long S. E., Mayhew T. M., Perry G, C., Prescott N. J., Wathes C. M., (1994). Rate of discharge and morphology of sweat glands in the perineal, lumbodorsal and scrotal skin of cattle, *Res. Vet. Sci.* 57, 277-284.
27. Silanikove N., Maltz E., Halevi A., Shinder D. (1997). Metabolism of water, sodium, potassium, and chlorine by high yielding dairy cows at onset of lactation. *J. Dairy Sci.* 80: 949-956.



תמונה 1: סככת טיפול קיבוץ שדה אליהו – מבט מבחוץ



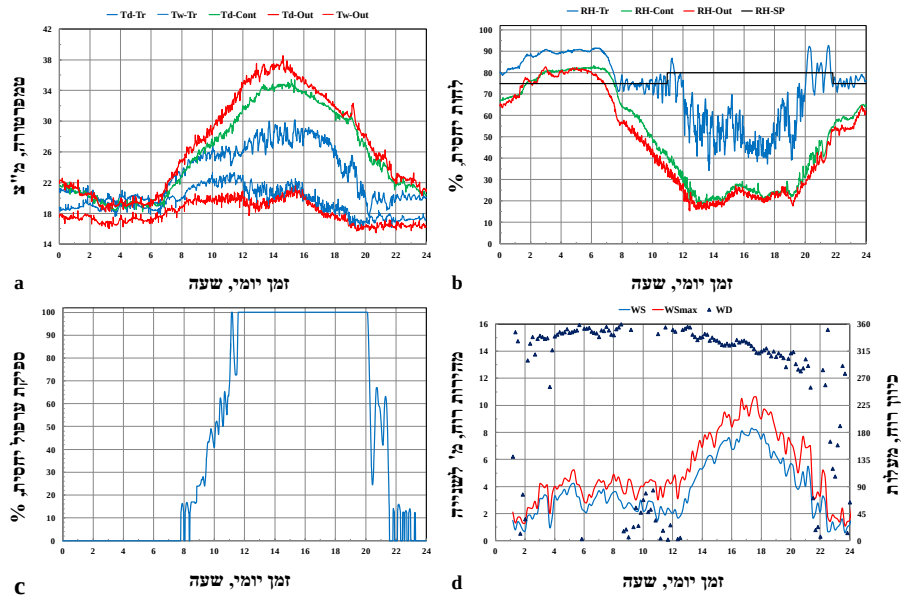
תמונה 2: סככת טיפול קיבוץ שדה אליהו – מבט מבפנים



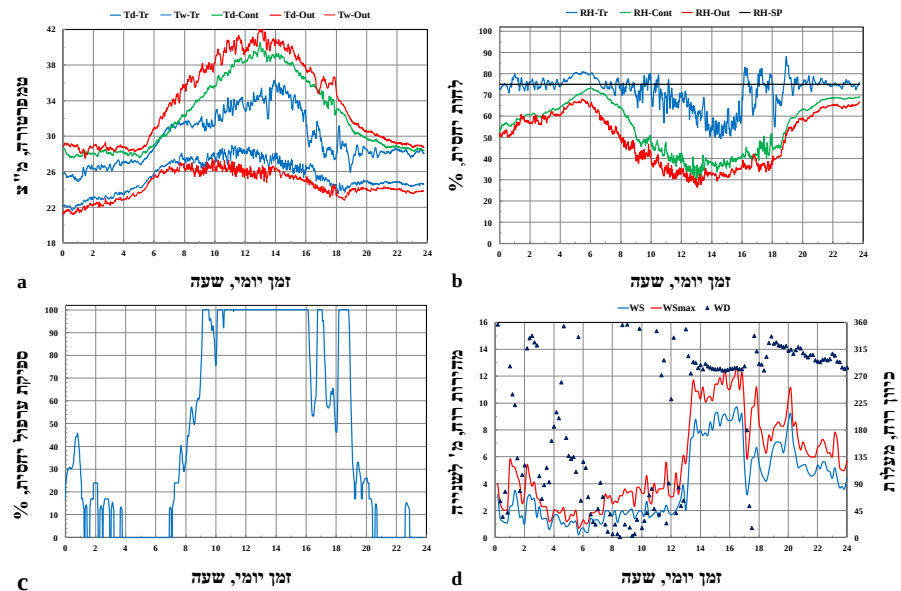
תמונה 3: רפת קיבוץ גרופית.



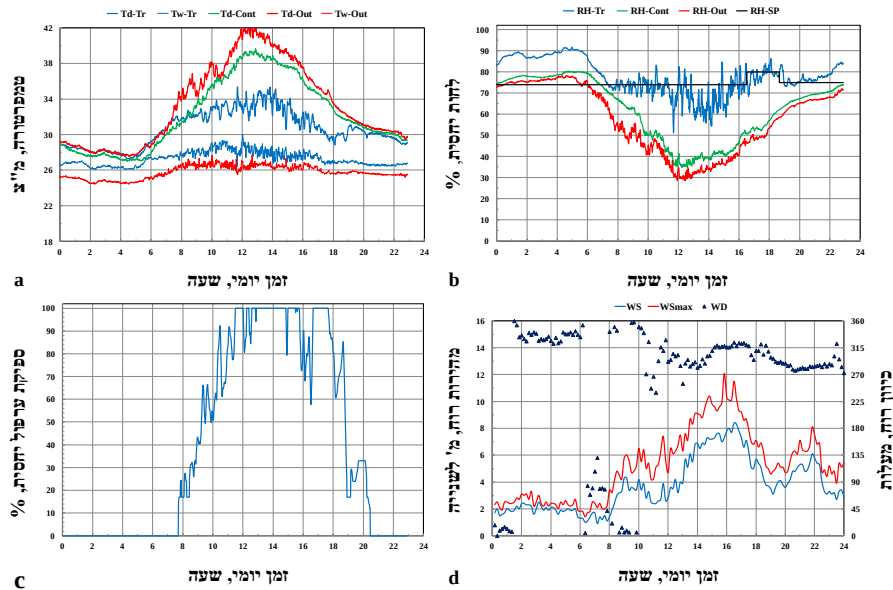
תמונה 4: רפת קיבוץ יהל



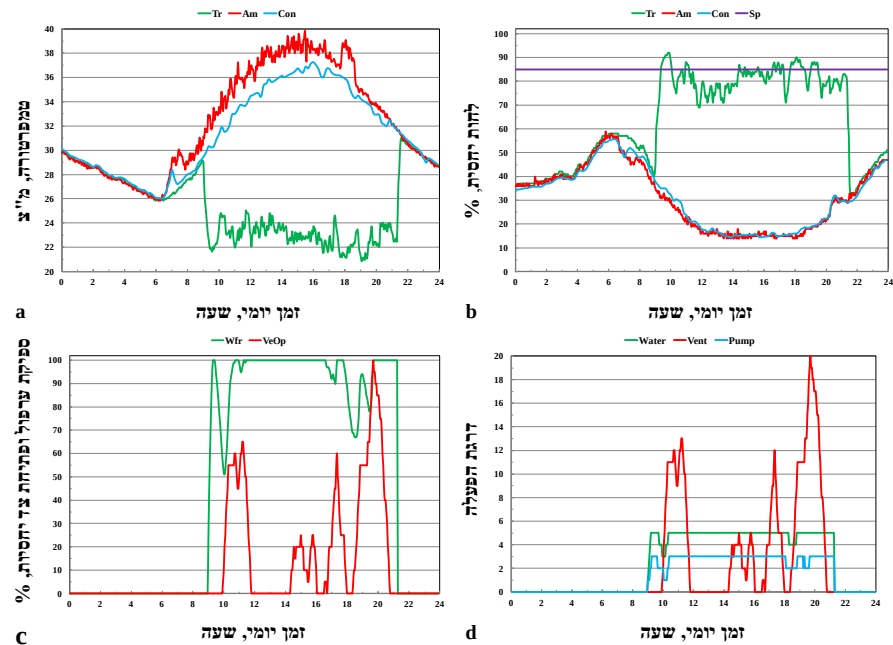
איור 2: תנאי אקלים ותנאי הפעלה רפת שדה אליהו ומתאריך 2012-6-2: (a) מהלך יומי של טמפרטורות – יבש-טיפול (Td-Tr), לח-טיפול (Tw-Tr), יבש-ביקורת (Td-Cont), יבש-חוץ (Td-Out) ולח-חוץ (Tw-Out); (b) מהלך יומי לחות יחסית – טיפול (RH-Tr), ביקורת (RH-Cont), חוץ (RH-Out) ורצוי (RH-SP); (c) מהלך יומי של ספיקת מי הערפול; (d) מהלך יומי של מהירות רוח (WS), מהירות רוח מקסימאלית (WSmax) וכיוון רוח (WD).



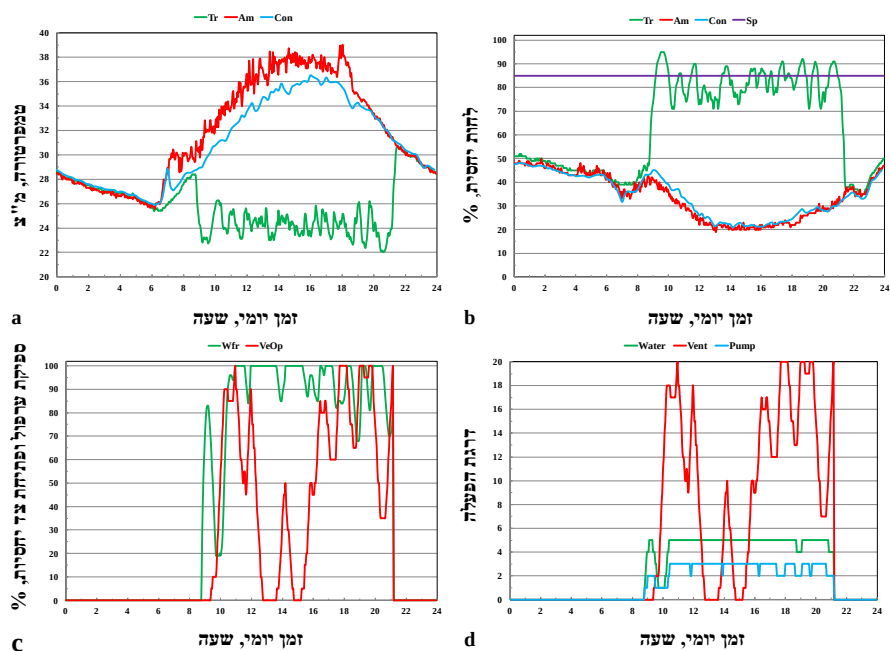
איור 3: תנאי אקלים ותנאי הפעלה ברפת שדה אליהו ומתאריך 2012-8-2: (a) מהלך יומי של טמפרטורות – יבש-טיפול (Td-Tr), לח-טיפול (Tw-Tr), יבש-ביקורת (Td-Cont), יבש-חוץ (Td-Out) ולח-חוץ (Tw-Out); (b) מהלך יומי לחות יחסית – טיפול (RH-Tr), ביקורת (RH-Cont), חוץ (RH-Out) ורצוי (RH-SP); (c) מהלך יומי של ספיקת מי הערפול; (d) מהלך יומי של מהירות רוח (WS), מהירות רוח מקסימאלית (WSmax) וכיוון רוח (WD).



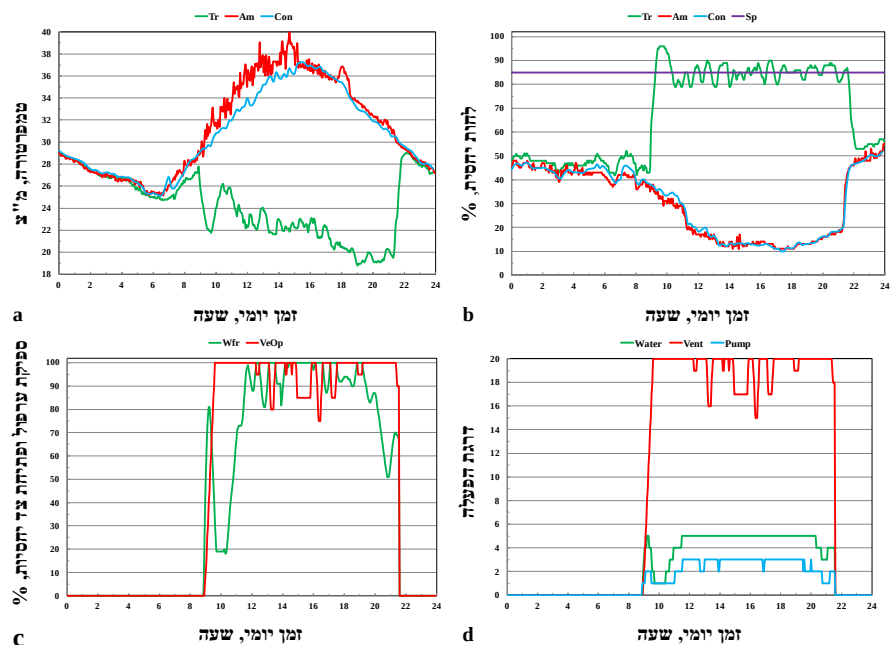
איור 4: תנאי אקלים ותנאי הפעלה ברפת שדה אליהו ומתאריך 24-7-2012: (a) מהלך יומי של טמפרטורות – יבש-טיפול (Td-Tr), לח-טיפול (Tw-Tr), יבש-ביקורת (Td-Cont), יבש-חוץ (Td-Out), ולח-חוץ (Tw-Out); (b) מהלך יומי לחות יחסית – טיפול (RH-Tr), ביקורת (RH-Cont), חוץ (RH-Out) ורצוי (RH-SP); (c) מהלך יומי של ספיקת מי הערפול; (d) מהלך יומי של מהירות רוח (WS), מהירות רוח מקסימאלית (WSmax) וכיוון רוח (WD).



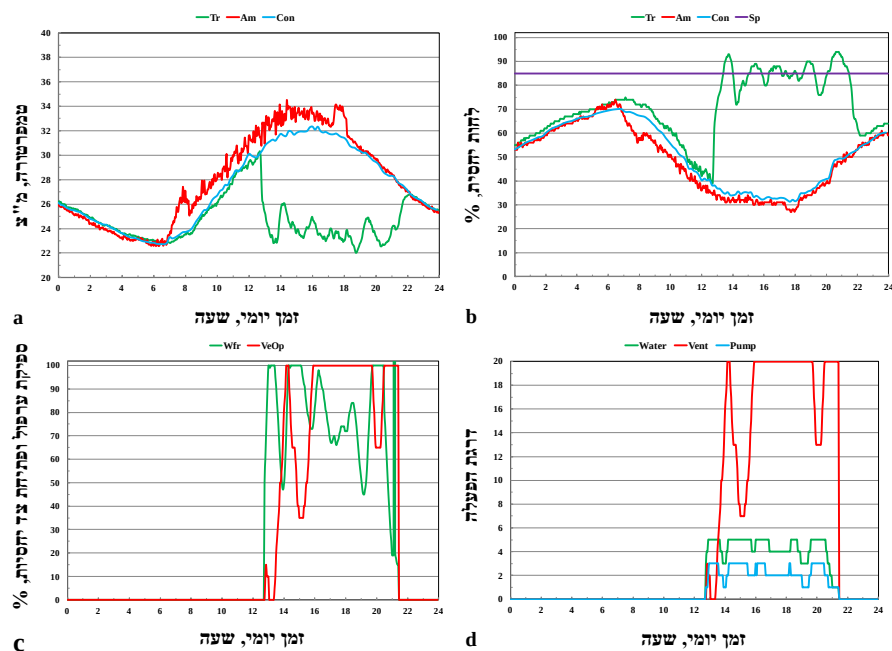
איור 5: תנאי אקלים ותנאי הפעלה ברפת יהל ומתאריך 20-8-2012: (a) מהלך יומי של טמפרטורות יבש – טיפול (Tr), סביבה (Am) וביקורת (Cont); (b) מהלך יומי לחות יחסית – טיפול (Tr), סביבה (Am) וביקורת (Cont); (c) מהלך יומי של ספיקת מי הערפול (Wfir) ופתיחת דפנות (VeOp); (d) מהלך יומי של דרגת הפעלה (Water), פתיחת דפנות (Vent) ומשאבות (Pump).



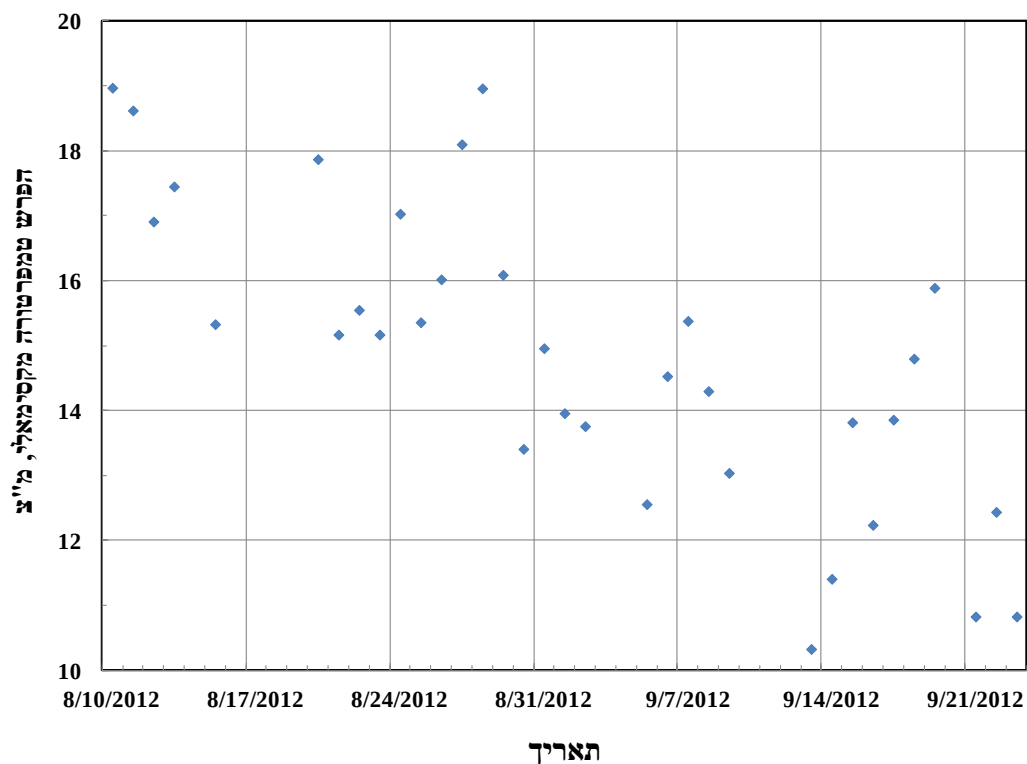
איור 6: תנאי אקלים ותנאי הפעלה ברפת יהל ומתאריך 21-8-2012: (a) מהלך יומי של טמפרטורת יבש – טיפול (Tr), סביבה (Am) וביקורת (Con); (b) מהלך יומי לחות יחסית – טיפול (Tr), סביבה (Am) וביקורת (Con); (c) מהלך יומי של ספיקת מי הערפול (Wfr) ופתיחת דפנות (VeOp); (d) מהלך יומי של דרגת ההפעלה – קווי הערפול (Water); פתיחת דפנות (Vent) ומשאבות (Pump).



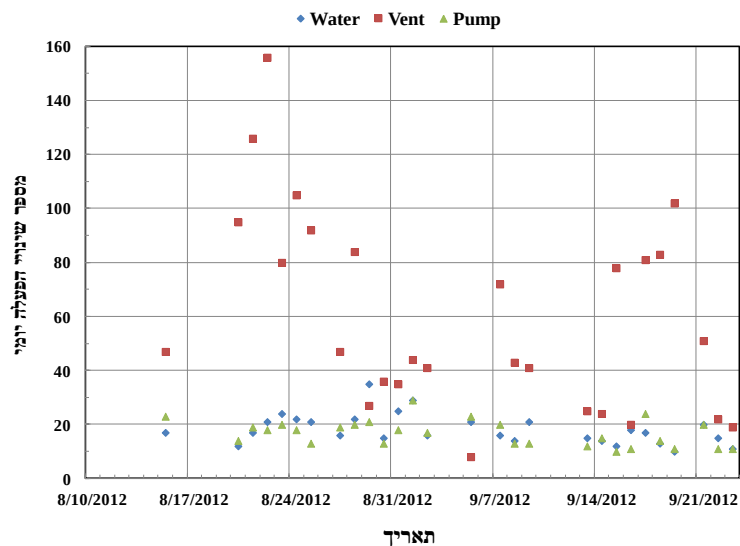
איור 7: תנאי אקלים ותנאי הפעלה ברפת יהל ומתאריך 27-8-2012: (a) מהלך יומי של טמפרטורת יבש – טיפול (Tr), סביבה (Am) וביקורת (Con); (b) מהלך יומי לחות יחסית – טיפול (Tr), סביבה (Am) וביקורת (Con); (c) מהלך יומי של ספיקת מי הערפול (Wfr) ופתיחת דפנות (VeOp); (d) מהלך יומי של דרגת ההפעלה – קווי הערפול (Water); פתיחת דפנות (Vent) ומשאבות (Pump).



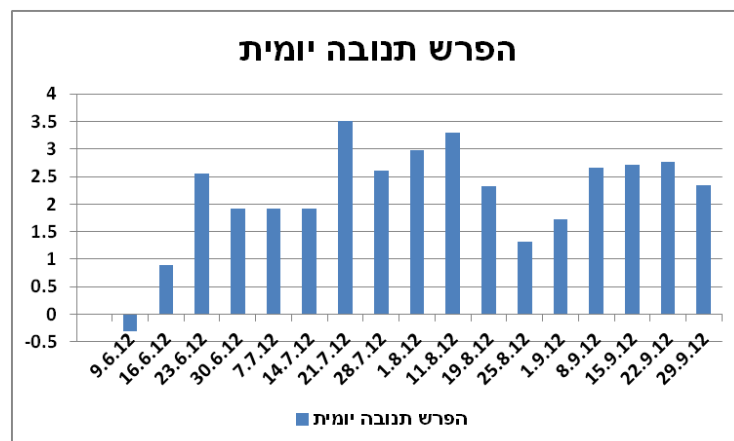
איור 8: תנאי אקלים ותנאי הפעלה ברפת יהל ומתאריך 21-9-2012: (a) מהלך יומי של טמפרטורת יבש – טיפול (Tr), סביבה (Am) וביקורת (Con); (b) מהלך יומי לחות יחסית – טיפול (Tr), סביבה (Am) וביקורת (Con); (c) מהלך יומי של ספיקת מי הערפול (Wfr) ופתיחת דפנות (VeOp); (d) מהלך יומי של דרגת ההפעלה – קווי הערפול (Water), פתיחת דפנות (Vent) ומשאבות (Pump).



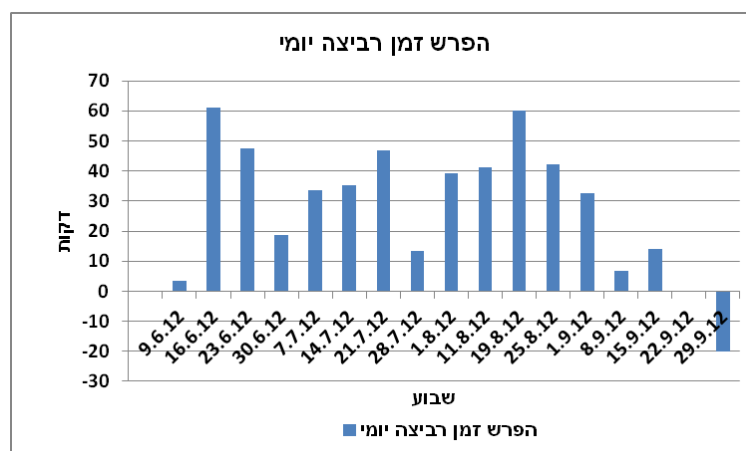
איור 9: הפרש טמפרטורה מקסימאלי יומי, בין המבנה המצונן לבין הסביבה, בין השעות עשר בבוקר ל- שמונה בערב.



איור 10: מספר שינויי ההפעלה היומי של קווי הערפול (Water), פתחי הצד (Vent) והמשאבות (Pump)



איור 11: הפרש תנובת חלב יומית (ממוצע שבועי) של 59 פרות מתחלובה שנייה ואילך בקבוצת הניסוי וקבוצת הביקורת בחודשים יוני - ספטמבר.



איור 12: הפרש זמן יומי (ממוצע שבועי) של הפרות בקבוצת הניסוי וקבוצת הביקורת בחודשים יוני - ספטמבר.

טבלה 1. שטפי חום ותנובה בתנאים: פרווה יבשה, טמפרטורת עור 38.5 מ"צ וטמפרטורת סביבה האקוויולנטית למעבר חום בקרינה, זהה לטמפרטורת האוויר שבסביבה

תנאים													
5			3			5			3	2	1		עובי פרווה, מ"מ
1	2					1		2					מהירות אוויר, מ' לשנייה
22			25.2	28			25.08				38.5	טמפרטורה, מ"צ	
75			100	80							25	לחות, %	
53686			77018				66066					אנטלפיה, ג'אול לק"ג	
12.42			20.3	19.15			16.04				10.6	יחס ערבוב, ג' לק"ג	
חישובים													
4829			3611	3787			4260				5100	הפרש לחץ אדים, פסקל	
29.7	29.9	30.4	31.8	33.3	32.4	33	31.4	30.1	31.8	34.5	34.5	38.5	טמפרטורת פרווה, מ"צ
שטפי חום, וואט													
631			477	500			563				674	בהזעה	
281	306	430	357	176	193	174	223	264	356	476	676	0	בהולכה מהעור לפרווה
265	310	260	223	280	200	180	229	271	220	184	141	0	בקרינה מהעור לפרווה
263	241	286	224	176	152	174	221	207	234	257	310	0	בקרינה מהפרווה לסביבה
283	375	304	356	280	240	180	231	328	342	410	507	0	בהסעה מהפרווה לסביבה
928	1005	1095	485	460	411	386	577	650	684	757	895	281	בנשימה
2102	2252	2426	1542	1482	1360	1300	1591	1748	1823	1975	2275	965	סה"כ
62.5	68.5	75.5	39.5	37	32	29.5	41.5	48	51	57.5	69.8	15.3	תנובה, ק"ג ליום

טבלה 2. שטפי חום וטמפרטורת העור: פרווה רטובה ובעובי של 5 מ"מ, טמפרטורת סביבה האקוויולנטית למעבר חום בקרינה, זהה לטמפרטורת האוויר שבסביבה ותנובת חלב של 60 ו- 80 ק"ג ליום (סה"כ הפסדי חום 2039 ו- 2524 וואט, בהתאמה)

תנאי הפעלה											
80				60						תנובת חלב, ק"ג ליום	
1	2			1		2				1	מהירות אוויר, מ' לשנייה
38.5		28				25.2	22.4	25.08	38.5		טמפרטורת אוויר, מ"צ
25		80				100		80	25		לחות, %
66066		77018					66066				אנטלפיה, גאול לק"ג
10.6		19.15				20.3	17.12	16.04	10.6		יחס ערבוב, ג' לק"ג
חישובים											
32.5	29.5	30.8	32.6	31.5	30	29.7	26.9	27.2	28.7	31.6	טמפרטורת פרווה, מ"צ
34.6	31.6	33.1	34.9	33.4	31.9	31.7	28.6	28.9	30.4	33.3	טמפרטורת עור, מ"צ
שטפי חום, וואט											
1011		885		687			785				בנשימה
1513		1639		1352			1254				בהולכה מהעור לפרווה
-220	-335	105	157	123	71	157	157	74	-360	-253	בקרינה מהפרווה לסביבה
-328	-492	164	246	191	109	246	246	115	-530	-377	בהסעה מהפרווה לסביבה
2061	2340	1370	1236	1038	1172	949	851	1065	2144	1884	חום כמוס מהפרווה
3	3.4	2	1.8	1.3	1.7	1.4	1.2	1.5	3.1	2.7	שטף אידי, ק"ג לשעה

סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.

מטרת העבודה העיקרית הנה פיתוח שיטת צינור לרפתות המשלבת מערכות אוורור, סחרור וערפול. זאת, במגמה להקנות תנאים שיאפשרו הפגת החום מהפרות, ללא מאמץ מצידן, ובאופן הכלכלי ביותר.

עיקרי התוצאות.

במהלך שלושת השנים העבודה התמקדה בעיקר בפיתוח ניתוח התיאורטי, אפיון מרכיבי המערכת, באיתור רפתות מתאימות, התקנת המערכות ברפת הניסיונית שבשדה אליהו ובחינה ומעקב אחר הביצועים שהתמקדו בעיקר ברפתות של הקיבוצים שדה אליהו ויהל. על פי התוצאות האקלימיות שהתקבלו, נראה שבעוד שהביצועים שהתקבלו בקיבוץ שדה אליהו היו מאכזבים הרי בקיבוץ יהל היו מעודדים מאוד. הביצועים המאכזבים שהתקבלו בקיבוץ שדה אליהו נבעו משתי סיבות עיקריות: תחלופת אוויר של הסככה גבוהה – בשל משבי הרוח המקומיים וחוסר השליטה בסגירת המבנה וכתוצאה מכך עלתה הטמפרטורה וירדה הלחות היחסית, וטמפרטורות הלח הגבוהות – במרבית שעות היממה וללא כל השוואה לתנאים המטאורולוגיים הממוצעים הרב שנתיים המקומיים. לעומת זאת, בקיבוץ יהל במרבית ימות הקיץ טמפרטורת הסככה לא עלתה על 26 מ"צ ובמרבית שעות היום הייתה סביב ה- 24 מ"צ. מערכת הצינור הופעלה באופן חלקי, החל משעה 9 בבוקר ועד לשעה עשר בערב. בנוסף לכך, ניתן לראות שמרבית עומס החום בשני המבנים הניסיוניים, מקורו בקירות ובגג החמים בשל קרינת השמש וטמפרטורות הסביבה. מערכת הבקרה פעלה היטב הן מבחינת שמירה על ספי הפעולה, מחד גיסא, והן במניעת הפעלות מיותרות ולמניעת הבלאי המוגבר הנלווה לכך, מאידך גיסא.

מסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו, האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדו"ח?

- טמפרטורת הסף התחתון שניתן להגיע אליה בתנאי הערבה, בתוך המבנה ובמהלך ימות הקיץ, עשויה לנוע בתחום של 19 מ"צ בשעת הזריחה עד 23 מ"צ בצהרי היום.
- הפעלה חלקית של השיטה המוצעת הגדילה את תנובת החלב בכדי 2.5 ק"ג ליום לפרה.
- התקבל שיפור משמעותי בשיעור ההתעברות.
- שיטת הצינור גורמת לשיפור ניכר ברווחת הפרה.
- שיטת הצינור המוצעת בעלת היתכנות כלכלית גבוהה.

בעיות שנותרו לפתרון ו/או השינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה, התייחסות המשך המחקר.

מומלץ להמשיך בעבודה ולהתמקד בפיתוח ובחינת מבנה המותאם מלכתחילה לשיטת הצינור המוצעת והמהווים מכלול שלם

הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב – ציטט ביבליוגרפיה כמקובל בפרסום מדעי

- פרסום מדעי – עדיין לא. הרצאות מוזמנות ע"פ בקשת גופים רבים של מגדלים ומחלבות.

פרסום הדו"ח:

אין כל מניעה!