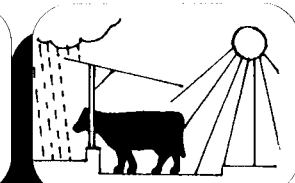


הרפת והסביבה



הערכת עומס החום הסביבתי ודרכים להקטנתו 2. השפעת טמפרטורות האוויר, לחות האוויר ומהירות הרוח כגורמים בודדים

ע. ברמן

המחלקה למדעי בעלי חיים, הפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית

אלא היא הוצאה שאין לה תמורה. לפי כך לא רק היצרנות פוחתת בחום, כי אם גם היעילות של הייצור פוחתת. מכאן הצורך לנקוט באמצעים כדי לצמצם את עומס החום הסביבתי וכדי להגביר את הפגת החום מגוף הבקר. כל אלה נשמעים כסיפור ידוע מזמן. אך הוא ידוע לנו בעיקר כסיפור, באופן איכותי.

הניסויים שנערכו בנושא זה הם רבים מאד והם נתנו מידע כמותי רב. אך עם זאת, מידע זה רחוק מלהיות מקיף עד כי ניתן יהיה להציע פתרון לכל מצב. הסיבה לכך הנה מורכבות הנושא. עומס החום תלוי בכמה גורמים: הטמפרטורה של האוויר, הלחות שבו, מהירות הזרימה של האוויר – הרוח, כמות החום המגיעה בקרינה, שטח הגוף החיצון של הפרה השונה בהיותה עומדת או רובצת, ולא פחות היצרנות של הפרה הקובעת כמה חום היא מייצרת בגופה וחייבת להפיג אל סביבה. גורמים אלה מופיעים בעוצמות שונות, ובצירופים שונים. אין אפשרות לעשות ניסוי מכוון לכל אחד מצירופי הגורמים בהם נמצאים העדרים. הפתרונות שהוצאו בוססו על ניסויים מדוייקים שהאירו נקודות מסויימות והשאירו שאלות רבות ללא מענה. את החלל מילאו קיצורי דרך שהתבססו על הגיון איכותי והערכות. הפתרונות שהוצגו להקלת עומס החום כוללים טיפוסים המבנים, המערכות לצינון הבקר בחצרות ההמתנה, לאורך האבוסים ובאזורי הרביצה המוצלים. במקביל ירד מחירם של אמצעי המדידה של טמפרטורה, לחות ורוח, ופותחו אמצעי בקרה המאפשרים להפעיל את הממשק המתאים לתנאי האקלים. אך המידע שקיים אינו מאפשר כיום לנצל את

המחקר העיוני והיישומי על עומס החום בבקר מתקיים למעלה מ-50 שנים. הוא היה חלק מכלל המחקר שניסה להבין את מכלול ההשפעות של האקלים הסובב על בעלי-חיים, כולל האדם. המחקר נערך בחדרי אקלים וגם בתנאים טבעיים. מחקר זה קידם בהרבה את ההבנה של הנושא. ראשית הוא הביאנו להבנה כי האדם הוא חיה חריגה, לא רק בזכות כושר החשיבה המופשטת (שלא תמיד הגיונית כל כך) אלא גם בזכות כושר ההזעה. הבקר אינו מצטיין כל כך בכישורים אלה. יכולתו להפיג חום מגופו על ידי הזעה היא רק חמישית מזאת של אדם. אמנם הבקר מפצה את עצמו על כושר ההזעה המוגבל על ידי אידוי מדרכי הנשימה, והוא עושה זאת על ידי נשימות מהירות, שטחיות. אבל גם פתרון זה אינו נקי: כאשר הבקר עושה זאת, הוא אינו אוכל וגם אינו מעלה גירה, וגם מפסיק את הרביצה ועומד ומתנשם. לכך יש מחיר כפול: האכילה פוחתת, עיכול המזון מואט וזה פועל בפני עצמו לצמצום צריכת המזון. לכן הפתרון של האדם הוא חכם יותר (לא באשמתו), כי כל הנדרש ממנו הוא השתיה. מעבר לכך, רמת ההכנסה של האדם איפשרה לו, בחברות מסויימות להימצא בסביבה ממוזגת, דבר שהבקר רחוק מלהגיע אליו. הבקר אינו מתמודד מספיק טוב באקלים חם, וחלה עליה בטמפרטורה של הגוף בימים החמים. העליה בטמפרטורה של הגוף היא כשלעצמה מעלה את חילוף החומרים ובכך את תצרוכת המזון. יכלנו לחשב כי אפילו עליה מתונה בטמפרטורה של הגוף מעלה את תצרוכת המזון כדי 5% עד 10%. עליה זאת בתצרוכת המזון אינה מלווה בעליה ביצרנות,

תנאים סביבתיים משתנים על מאזן החום מבלי לערוך סימולציה לכל מצב בדיד.

תוצאות

הסימולציות נערכו בשלב ראשון לפרה המניבה 35 ק"ג חלב ליום, עם פרווה בעובי 6 מ"מ, המצויה בצל. תנאי הסביבה הממוצעים לכל הסימולציות היו טמפרטורות אוויר של 30.6 מע"צ. לחות יחסית של 46% (מתאים ללחץ אדי מים של 20 מ"מ בר), מהירות רוח של 1.5 מ"/שניה. בתנאים ממוצעים אלה עלתה טמפרטורת הגוף (לפי התוצאות הממוצעות של הסימולציות) ב-0.23 מע"צ/שעה. נניח כי טמפרטורת הגוף מתחילה לעלות כשעתיים לאחר הזריחה, ועולה עד שעה 14, כלומר במשך כ-6 עד 7 שעות, צפויה עליה של 1.4 עד 1.6 מע"צ. נניח גם כי טמפרטורת הגוף המינימליות היא 38.1 מע"צ, כלומר טמפרטורת השיא תהיה בגבולות 39.5 עד 39.7. נתונים אלה מתאימים לידוע לנו מן המציאות כאשר לא מקיימים מקלחות בחצר ההמתנה, ואין מצננים לאורך האבוס. מכאן כי הסימולציות האלה אינן רחוקות מאד מן האמת, ונתונין עשויים לשמש כתמונה של הצפוי גם בתנאים שאינם זהים לתנאים הממוצעים.

מתוך נתוני הסימולציה בחרתי שני נתונים החשובים בעיני: את הטמפרטורה של הגוף ואת החום המופג מדרכי הנשימה. הנתון הראשון מייצג את החום שהפרה לא מצליחה להפיג מגופה והוא הגורם לעליה בטמפרטורה של הגוף. היחידות שלו הן מעלות/שעה. הוא מייצג אפוא את התוצאה של עומס החום הסביבתי. עליה זאת בחום הגוף גורמת לשינויים פיזיולוגיים רבים: בקווים כלליים ניתן להצביע על ירידה התאבון, על האטה של התכווצויות מערכת העיכול ומכאן להאטת העיכול, על שינויים בפעילות ההורמונלית ועל פגיעה בפוריות ובתנובה. לכן עליה בטמפרטורת הגוף היא מצב שיש לשאוף להימנע ממנו. מתוך נתוני הסימולציה ניתן להגיע לצירופי התנאים בהם מתחילה עליה בטמפרטורת הגוף. נתון שני בעל משמעות בהקשר זה הוא העליה

מערכת הבקרה כדי להנחות אותנו מתי להתחיל להפעיל את מערכות הצינון ומתי להפסיקן. ברשימה זאת ובבאות אחריה ננסה להציע פתרונות טובים יותר מאלה שמצויים בידנו כיום.

שיטת המחקר

הגישה אותה נביא מבוססת על מחקר שהתפרסם לפני כשנה והמציע מודל סימולציה (הדמייה) לזרימת החום בין הפרה לבין סביבתה. מודל זה בנוי הן על נתונים פיזיולוגיים של זרימת החום בגוף והן על נתונים פיזיקליים של זרימת החום בין הגוף לבין הסביבה. קיבלתי את המודל מן המחברים לצורך מחקר. לאחר לימודו, הרצתי את המודל כדי לבחון כמה שאלות. בשלב ראשון בדקתי אם התוצאות שהתקבלו מתאימות לתוצאותיהם של ניסויים מדויקים שנערכו על ידי אחרים. לאחר עריכת שינויים קלים במודל החלו ההרצות השיטתיות. כל הרצה של המודל נותנת את חילוף החומרים (העולה עם עליית הטמפרטורה של הגוף), הפסד החום מדרכי הנשימה, הפסדי החום באמצעות אידוי, הסעה וקרינה משטח הגוף, החום הנאגר בגוף, אם עולה טמפרטורת הגוף ומה הוא קצב העליה לשעה.

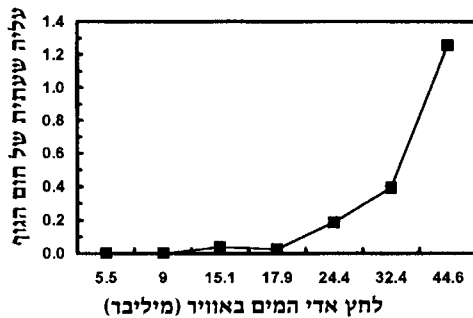
כל הרצה של הסימולציה נותנת שורה אחת של תוצאות בתנאים סביבתיים נתונים. נערכו מעל 800 הרצות של הסימולציה. בהרצות אלה נבחנו מצבים של תנובה יומית של 35 ו-45 ק"ג חלב, פרווה בעובי בין 3 לבין 12 מ"מ (של קיץ ושל חורף), טמפרטורת אוויר בין 20 ל-40 מע"צ, לחות יחסית בין 20% לבין 80%, מהירויות רוח בין 0.25 מ"/שניה לבין 4 מ"/שניה, עוצמות אידוי עורי טבעיות וכן עוצמות אידוי מן העור בסדר גודל המתקבל כתוצאה של הרטבת העור (בין 200 לבין 1200 גר"/מ² לשעה) וכן עוצמות קרינה מצויות בסככה ביום ובחצר בלילה המקטינות (או מגדילות) את הטמפרטורה האפקטיבית של האויר ב-3 מע"צ או ב-6 מע"צ יחסית לטמפרטורת האוויר. ניתחנו תוצאות אלה באמצעות רגרסיות רבות המשתנים בתוכנת SAS. כן נבחנו השפעת

הממוצעים של רוח, לחות וקרינה בהרצות אלה, כלומר כאשר הרוח היא במהירות של 1.5 מ'/'שניה, הלחות היחסית היא בסדר גודל של 46%, והקרינה זניחה. טמפרטורות אוויר של 30° הן אירוע כמעט יום-יומי בקיץ של שפלת החוף, 35° הן שגרת הקיץ בבקעת הירדן וטמפרטורה של 40° הן מתחת למקסימום הממוצע של חודשי הקיץ בערבה הדרומית.

לחות האוויר

יש לבחון במקביל את ההשפעה של הלחות על עליית טמפרטורת הגוף (תרשים 2). הלחות מוצגת כאן ביחידות של לחץ חלקי של אדי המים באוויר, יחידות שפחות מוכרות. נבהיר בחירה זאת. הלחות היחסית, ביטוי של לחות האוויר אליו אנו מורגלים, הנה ביטוי שמשמעותו: כמות אדי המים שבאוויר, באחוזים מכמות המים המירבית שהאוויר יכול להכיל באותה טמפרטורה.

תרשים 2. השפעת הלחות על קצב העליה השעתית של טמפרטורת הגוף.



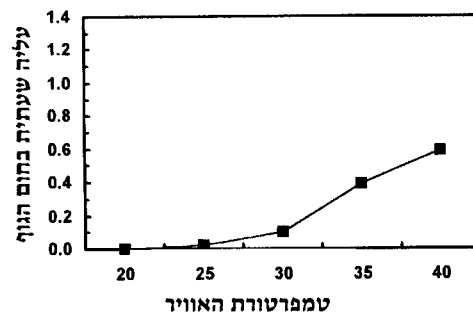
וכאן מלכוד אחד: כמות המים שהאוויר יכול לשאת תלויה מאוד בטמפרטורה. בטמפרטורה של 15° האוויר יכול לשאת כ־10 גר' מים במטר מעוקב של אוויר, ואילו ב־30° יכול האוויר לשאת קרוב ל־24 גר' מים. מלכוד שני מצוי בעובדה כי האידיוי הוא פעולה של חילוף אדי מים תלוי בין שני גופים, במקרה שלנו בין שטח העור (או הפרווה) לבין האוויר. חילוף זה של אדי מים תלוי בהפרש במספר אדי המים ובעוצמת התנועה שלהם, כלומר בכמות אדי המים באוויר

בהפגת החום מדרכי הנשימה, וזאת משני טעמים: האחד כי העליה בהפגת החום מדרכי הנשימה מבטאת את המאמץ של הפרה להיפטר מעודפי חום המצטברים בגוף. היא מקדימה את העליה בטמפרטורת הגוף. הצבעה על התנאים הסביבתיים בהם הפרה מתחילה לצאת ממצב הנוחות, בו היא מצליחה להפיג את כל עודפי החום על ידי שטף החום דרך העור. ועוד: כאשר הפרה מגבירה את הפגת החום מדרכי הנשימה, היא עושה זאת על ידי גשימה מהירה, ואז מואטת העברת המזון דרך מערכת העיכול (והעיכול עצמו מואט), וכן היא מפסיקה לאכול ולהעלות גירה. לכן מציאת התנאים הסביבתיים בהם מתגברת הפגת החום מדרכי הנשימה עשויה להיות יעילה יותר, אבל גם יקרה יותר. לפיתוח מערכת צינון בהם נשמרת היצרנות. בשלב ראשון נבחן את התוצאות המתייחסות לטמפרטורת הגוף.

טמפרטורת האוויר

היחס בין טמפרטורת האוויר לבין עליית טמפרטורת הגוף מובא בתרשים 1.

תרשים 1. היחס בין טמפרטורות האוויר לבין קצב העליה השעתית של טמפרטורות הגוף.



לפי תוצאות אלה הטמפרטורה של הגוף תתחיל לעלות כאשר טמפרטורת האוויר עולה מעל 25°, ובטמפרטורת אוויר של 30° יש לצפות לעליה בטמפרטורת הגוף בקצב של 0.1°/שעה, כלומר שבמשך 6 שעות היא תעלה ב־0.6°. יש לזכור כי הללו אמורים לגבי התנאים

בתרשים זה מוצג השינוי בלחץ האדים עם עליית הטמפרטורה של האוויר, וזאת ב-5 לחויות יחסיות שונות. בולט כי לחץ האדים בלחות יחסית מסויימת עולה עם עליית הטמפרטורה של האוויר. כמו כן בולט בו ההפרש בלחץ האדים בין הלחות היחסיות, הגדל עם עליית הטמפרטורה של האוויר. מאחר שהאידוי מתרחש בהתאם להפרש בלחצי אדים בין האוויר לבין העור, תרשים זה מבהיר שוב את אי-ההתאמה של הלחות היחסית כמדד שיתאר את השפעתה על האידוי מגוף הפרה – או כל גוף אחר.

מתרשים זה נראה כי כל עוד הלחות היחסית היא בגבולות 20%, לא יושג לחץ אדים של קרוב ל-20 מ"מ בטמפרטורות אוויר של עד 40°-45°. כאשר הלחות היחסית היא כ-40%, יגיע לחץ האדים ל-20 מ"מ בטמפרטורת אוויר של 29°. לחץ בין 30 לבין 35 מ"מ יושג בטמפרטורות אוויר של 30°-35° כאשר הלחות היחסית היא בסביבות 60%. מצבים אלה הם די נפוצים בקיץ בשפלת החוף, ובהם עשויה טמפרטורת הגוף לעלות בקצב של 0.4° לשעה. לחצי אדים בסדר גודל של 40 מ"מ הם נדירים ביותר, והם עשויים להופיע רק בבקעת הירדן או בערבה הדרומית בימים חריגים ביותר.

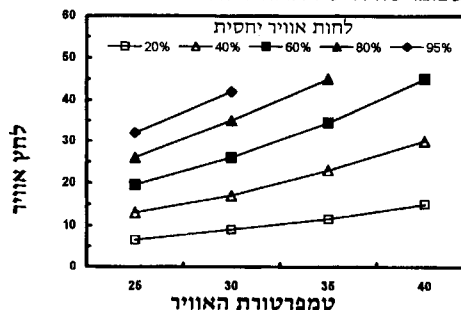
הרוח

השפעה של מהירות הרוח על העליה השעתית של טמפרטורת הגוף מובאת בתרשים 4. יחסים אלה צפויים להתרחש כאשר טמפרטורת האוויר היא כ-30° ולחץ האדים הוא בגבולות 15 מ"מ – ערך המתאים ל-40% לחות באותה טמפרטורה. מהירות הרוח הנמוכה – 0.25 מ'/שניה מצויה כאשר לא מורגשת תנועת אוויר, וכן מצויה היא גם בנוכחות רוח של 0.5-1.5 מ'/שניה, אם מודדים את הרוח על פני פרות רובצות בצפיפות בסככה, או בפרות בתאי רביצה. מהירויות של 1-2 מ'/שניה הן המהירות הממוצעת של הרוח הבאה מן הים והמכונה "הבריזה", ואילו מהירויות של 4 מ'/שניה מצויה גם במשבים הערים של הרוח הימית. בשעות בהן לא נושבת רוח זאת, זרימת

ובטמפרטורה של האוויר היוצרת את התנועה של אדי המים. בהפשטה, המכפלה של עוצמת התנועה ושל מספר אדי המים יוצרת את לחץ אדי המים באוויר. לכן האידוי מהגוף תלוי בהפרש בלחץ אדי המים בינו לבין סביבתו. לכן, המדד של לחות האוויר הקשור ביותר ליכולת האידוי מגופים הוא לחץ האדים. הקושי בשימוש בו הוא בכך, כי ביטוי זה משמעותו פחות מובנת מאשר הביטוי "לחות היחסית" אליו אנו מורגלים. ביטוי הלחות ביחידות של לחץ אדים הוא לא רק נכון יותר, אלא גם הכרחי, כאשר אנו מנסים להפריד בין ההשפעה של הטמפרטורה לבין השפעת הלחות.

לחצי אדים בין 5.5 לבין 17 מ"מ (mbar) מצויים בחוץ ובעונות המעבר וערכים מעל 18 מ"מ מצויים בעונות המעבר ובקיץ. מן התרשים נראה כי לחצי אדים שמעל 18 מ"מ גורמים לעליה בטמפרטורת הגוף בתנאים הממוצעים של ההרצות. בהתאם לתרשים זה, בלחץ אדים של 21 מ"מ יש לצפות לעליה שעתית של 1.0° בטמפרטורת הגוף, ואילו בלחץ אדים של 24.4 תהיה העליה השעתית 0.2° כאשר טמפרטורת האוויר היא 30.6° ומהירות הרוח היא 1.5 מ'/שניה. מכאן כי לחץ אדים של 20 מ"מ הוא ערך קריטי מבחינת השפעתו של טמפרטורת הגוף. לכן חשוב לברר באיזה צירופי לחות יחסית וטמפרטורת אוויר יגיע לחץ אדי המים באוויר לערך של 20 מ"מ. את זאת ניתן להשיג מתוך היחס בין הטמפרטורה של האוויר והלחות היחסית שלו לבין לחץ האדים. אלה מובאים בתרשים 3.

תרשים 3. לחץ אדי המים באוויר כתלות בטמפרטורה של האוויר והלחות היחסית שלו.



תרשים זה מראה גם כי במהירות רוח של 2 מ'/שנייה ומעלה, העליה השעתית בטמפרטורת הגוף תהיה רק 0.1° . זאת במקום 0.4° , העליה הצפויה כאשר מהירות הרוח היא 0.25 מ'/שנייה. במילים אחרות, רוח מתאימה יכולה לצמצם לרבע את ההשפעה של תנאי אקלים מכבידים.

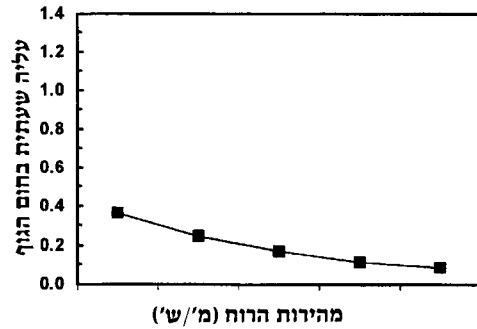
סיכום

ברשימה זאת הובאה השפעתם של טמפרטורות האוויר, הלחות שלו ומהירות הרוח על טמפרטורת הגוף המחושבת של פרה המניבה 35 ק"ג חלב מושווה שומן ליום. הוצגו רמות סף של טמפרטורות אוויר ולחות בהן מתחילה לעלות טמפרטורת הגוף. אלה צריכים להיות צמתים חשובים לצורך התנאים הסביבתיים בהם יש להפעיל את המערכות להקלת עומס החום. הגורמים הללו הוצגו כגורמים בודדים. בהמשך תובא השפעתם של צרופים שונים בין הגורמים הללו על היציבות של טמפרטורת הגוף ותובאנה מסקנות לגבי יעילותן של דרכים שונות להקלת עומס החום הסביבתי.



האוויר היא נמוכה אף מן הערך הנמוך המובא כאן.

תרשים 4. השפעת מהירות הרוח על קצב העליה השעתית של טמפרטורת הגוף.



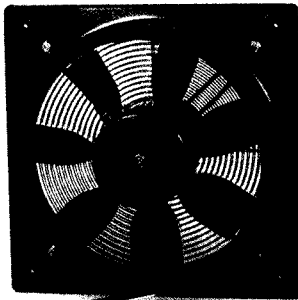
מתרשים זה נראה כי למהירות הרוח, כגורם יחיד, יש השפעה רבה על עליית טמפרטורת הגוף. במהירות רוח נמוכה, בסדר גודל של 0.25 מ'/שנייה, צפויה עליה שעתית של 0.4° בטמפרטורה של הגוף בתנאי הלחות והטמפרטורה המוזכרים למעלה. עליה זאת דומה למצב שבו לחץ האדים הוא 32 מ"מ"ר או טמפרטורת האוויר היא 35° , כגורמים בודדים.

איוורור יעיל תורם לשיפור בתנובת החלב

מבחר שואבי אוויר ומאווררים צרימים בספיקות אויר גבוהות

פיק 7324

חוצרת S&P ספרד



אחריות
ל-10 שנים

**מחירים
אטרקטיביים**

- מנועים סגורים. צלעות קירור
- מוגני אבק ומים, IP-65, ISO 9001
- כנפים יצוקות אלומיניום.
- או כנפים יצוקות פלסטיק בהזרקה
- ספיקות אוויר לפיזור מרבי, צריכת חשמל נמוכה
- יעוד המאווררים חצרות המתנה, סככות, מכוני חליבה ולולים, מחסנים ועוד.
- לחברת S&P שאנו סוכניה בארץ ידע בתחום החקלאי, התעשייתי, והביתי מזה 56 שנה

(שם אלמוני אישיותי ביעוץ גבול והספקה)

המרכז לאיוורור וחימום קורד בע"מ אבן גבירול 151 ת"א
טל. 03-6054351, 03-5445250, טלפקס. 03-5461759
www.ventilation.co.il E-mail: cordltd@zahav.net.il

