

## שיקולים בבחירה והפעלה של האמצעים להקלת עומס החום.

ע. ברמן

המחלקה למדעי בעל חיים,

הפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית

רשימה זאת באה להציג במסגרת כוללת, וברצף אחד את הידוע לנו בעת הזאת ביישום הקלת עומס החום בפרות החלב במשק האינטנסיבי, הקיבוצי והמושבי. היא לא עוסקת בהתאמות הדרושות לשם כך בתפריט המזון ובמבנים.

**המטרות.** הצינון הוא אמצעי ממשק כמו כל אמצעי הממשק האחרים, ההזנה, הטיפול הרפואי, המיכון והמיחשוב. ייעודם של אמצעי הממשק הוא שיפור הרווחיות של הענף, ולכן השימוש בהם מונחה על ידי שיקולי רווחיות ולא על ידי שאיפה למקסימליזציה של היישום.

אמצעי צינון באים למתן ואולי לבטל את השפעתו של הקיץ על יצרנות הבקר. הם דורשים השקעה בהתקנתם וכן הוצאות שוטפות בחשמל, השימוש במים, פינוי עודפי המים והטיפול בעודפים אלו. ההוצאות השוטפות תלויות במידת ההפעלה של אמצעי הצינון.

הפעלה יעילה של אמצעי צינון משמעותה כי המטרה מושגת בעלות הקטנה ביותר. העלות תלויה הן השקעה והן בהוצאות ההפעלה השוטפת. שיפור הרווחיות תלוי, בין היתר, ביכולת לשפר את היחס בין שיפור היצרנות לבין עלות השגתו. רשימה זו באה לנסות לברר את הדרכים בהן ניתן ליעל את הצינון של הפרות הן בהשקעה והן בהפעלה.

**עקרונות הגישה.** לצורך הערכת עומס חום והשפעתו רצוי להסתכל על הפרה כעל מכונה המייצרת חום, אותו היא מפיגה מן הגוף אל הסביבה. החום מופג מן הגוף על ידי הסעה וקרירה וכן על ידי אידוי מים מן העור ומדרכי הנשימה. בטמפרטורות אוויר נמוכות הפרה מפיגה חום במידה מכריעה (90%) על ידי הסעה וקרירה. עם עליית טמפרטורת האוויר מצטמצם הפסד החום על ידי הסעה וקרירה. הפרה מגבירה אז את האידוי, תחילה מן העור, וכאשר זה לא מספיק כדי לאזן את הפסד החום היא מגבירה את גם האידוי מדרכי הנשימה. זה מתבצע על ידי האצת קצב הנשימה עד לקצבי נשימה מהירים בהם מתחילה עלייה של טמפרטורת הגוף; אז הפרה עומדת, לא אוכלת ולא מעלה גירה. בשלב זה חלה ירידה בצריכת המזון וירידה בפוריות. הצינון בא למנוע מצבים אלו או לצמצמם למינימום.

יש להזהיר מפני מצבים של צינון במידה מופרזת, כי הוצאה יתירה של חום מן הגוף מביאה להגברה של צריכת המזון, מבלי שזו תלווה בעלייה של תנובת החלב. לכן צינון יעיל צריך להיות מופעל כאשר הוא דרוש, במידה הדרושה, ולא מעבר לה. כיצד ניתן להתקרב למטרה זאת?

הפרה נעה במהלך היממה בין כמה אזורים הנבדלים בתכונותיהם: מכון החליבה ובו חצר ההמתנה ועמדות החליבה, אזור ההאבסה שלאורך האבוס, אזור הרביצה והתנועה, וכן החצר, באותם מבנים בהם היא מצויה. אך אזורים אלו אינם דומים זה לזה מבחינת אמצעי הצינון המתאימים לכל אחד מהם וכדאיות ההשקעה לצורך צינון.

**אמצעים להקלת עומס החום.** נניח כאן כי המבנים תוכננו באופן שעומס החום הקורן הוא המזערי האפשרי ומתקיימת בהם זרימת רוח מיטבית. כן נניח כי הרכב המזון ודרכי הגשתו מתאימים לצרכי פרה בסביבה חמה. במקרה זה ניתן להקל את עומס החום הסביבתי, לצנן את הפרה, על ידי הגברה של הרחקת החום מגוף הפרה על ידי שימוש במאווררים, אידוי מים ושילובים של שניהם.

**השאלות לפתרון.** כאשר חותרים להשגת צינון יעיל, יש לבחון היכן ניתן לבצע צינון, באיזה אמצעים לבצעו, ומתי לבצעו. כמו כן נשאלת השאלה האם ניתן לפתח משוואות בעזרתן אפשר להעזר בבקר להפעלה ממוחשבת של מערכות הצינון בהתאם לתנאי מזג האוויר.

## מקום הצינון

אם קרינת החום מוקטנת למינימום על ידי ההצבה של מבני הרפת, ופרטי התכנון של המבנים מקיימים באופן מיטבי את הזרימה של הרוח הטבעית, אפשרי להקל את עומס החום על ידי צינון הפרות. את זאת ניתן לעשות בשלושה אזורים של המבנים: חצר ההמתנה, הסככה, ופס ההאבסה. לכל אזור ברפת יש מאפיינים יחודיים הקובעים את שיטות הצינון מתאימות ביותר, אופן הפעלתן והעיתוי שלהן.

[חצר ההמתנה.](#)

[הסככה.](#)

## שיטות הצינון

לרשותנו עומדים שלושה אמצעים להקלת עומס החום: האוורור המאולץ, שילוב הרטבה ואוורור של הפרווה, וקירור האוויר על ידי אידי מיס.

### האוורור המאולץ.

תנועת אוויר מוציאה חום ולחות מן הסככה. האוורור בסככה מפחית במחצית ואף יותר את כמות הריפוד השנתית הנחוצה לקיום דרגת היבש הרצויה למרבץ. שכבת האוויר של 30 ס"מ שמעל הרפד עשירה באדי מיס והעברתם אל הסביבה על ידי רוח מאיצה את התייבשות הפרש. הדבר נכון הן לגבי סככת ריפוד עמוק והן לסככת תאי רביצה. שיקול זה תומך בהתקנת מאווררים באזור הרביצה בסככות הכוללות והן בסככות תאי רביצה. החלפת האוויר הנ"ל מתרחשת גם על גופה של הפרה, אלא ששם קורה דבר נוסף. הטמפרטורה של הפרווה (המפרידה בין הפרה לבין האוויר שסביבה) גבוהה מן הטמפרטורה של האוויר. הדבר נכון גם לגבי לחות האוויר הכלוא בפרווה. באם תנועת האוויר מעטה, נוצרת סביב הפרה שכבת אוויר חמה ולחה מן האוויר הרחוק יותר מן הפרה. כתוצאה מכך הפרה נתונה בתוך מעטה אקלים פרטי – מיקרואקלים – חם ולח מן האקלים שבסביבה. הזרמת אוויר על גבי הפרווה מערבבת את האוויר שסמוך לפרה עם זה שבסביבתה, ובכך מגבירה את הפסד המימס והחום מגוף הפרה אל הסביבה.

אוורור הסככה שונה מאוורור חצר ההמתנה בכך שהוא דורש השקעה לא במקום אחד, אלא כמעט בכל סככות הפרות החולבות. קיימת סכנה של השקעה ועלויות הפעלה שהתרומה מהן מוטלת בספק. את הסככה מורכבת מאזור האבסה ומאזור רביצה המספקים צרכים שונים של הפרה. באזור ההאבסה הפרה שווה לרוב 4-5 שעות ביממה אם לא פועל בו צינון ומספר שעות כמעט כפול בקיץ אם מופעל בו צינון. לכן עוצמת הצינון הדרושה באזור זה קטנה בהרבה מזו הדרושה בחצר ההמתנה בה הפרות שוהות זמן קצר בהרבה. מטרתו העיקרית של הצינון באזור ההאבסה היא לנסות להביא את הפרה לצרוך את כל המזון המוצע לה. כמו כן משמש הצינון באזור זה כתוספת לצינון בחצר ההמתנה. ניסיון להחליף את הצינון בחצר ההמתנה בצינון באזור ההאבסה כרוך בעלות גבוהה של השקעה בציוד והוצאות הפעלה (חשמל, מיס וטיפול בנוזלים ניגרים) בסככות הפרות. לכן יש לנסות לפעיל מערכות אלו לפי הצורך בלבד. באזור הרביצה המטרה העיקרית של האוורור היא להבטיח את הרביצה והעלאת הגירה, מאחר ושניהם לא מתקיימים כרצוי כאשר הפרה נתונה בעומס חום. מטרה שנייה של האוורור ולא פחות חשובה מבחינת תועלתה, אם כי פחות בולטת לעין, היא השמירה על היובש של המרבץ. ניתן להגביר את התייבשות המרבץ על ידי תיחוח או שידוד, בעלות נמוכה. עלייה ברטיבות המרבץ עשויה להגביל את היצרנות אף יותר מעומס החום, בשל גורמי תחלואה.

תנועת אוויר מוציאה חום ולחות מן הסככה. האוורור בסככה מפחית במחצית ואף יותר את כמות הריפוד השנתית הנחוצה לקיום דרגת היבש הרצויה למרבץ. שכבת האוויר של 30 ס"מ שמעל הרפד עשירה באדי מיס והעברתם אל הסביבה על ידי רוח מאיצה את התייבשות הפרש. הדבר נכון הן לגבי סככת ריפוד עמוק והן לסככת תאי רביצה. שיקול זה תומך בהתקנת מאווררים באזור הרביצה בסככות הכוללות והן בסככות תאי רביצה. החלפת האוויר הנ"ל מתרחשת גם על גופה של הפרה, אלא ששם קורה דבר נוסף. הטמפרטורה של הפרווה (המפרידה בין הפרה לבין האוויר שסביבה) גבוהה מן הטמפרטורה של האוויר. הדבר נכון גם לגבי לחות האוויר הכלוא בפרווה. באם תנועת האוויר מעטה, נוצרת סביב הפרה שכבת אוויר חמה ולחה מן האוויר הרחוק יותר מן הפרה. כתוצאה מכך הפרה נתונה בתוך מעטה אקלים פרטי – מיקרואקלים – חם ולח מן האקלים שבסביבה. הזרמת אוויר על גבי הפרווה מערבבת את האוויר שסמוך לפרה עם זה שבסביבתה, ובכך מגבירה את הפסד המימס והחום מגוף הפרה אל הסביבה.

אוורור הסככה שונה מאוורור חצר ההמתנה בכך שהוא דורש השקעה לא במקום אחד, אלא כמעט בכל סככות הפרות החולבות. קיימת סכנה של השקעה ועלויות הפעלה שהתרומה מהן מוטלת בספק. את הסככה מורכבת מאזור האבסה ומאזור רביצה המספקים צרכים שונים של הפרה. באזור ההאבסה הפרה שווה לרוב 4-5 שעות ביממה אם לא פועל בו צינון ומספר שעות כמעט כפול בקיץ אם מופעל בו צינון. לכן עוצמת הצינון הדרושה באזור זה קטנה בהרבה מזו הדרושה בחצר ההמתנה בה הפרות שוהות זמן קצר בהרבה. מטרתו העיקרית של הצינון באזור ההאבסה היא לנסות להביא את הפרה לצרוך את כל המזון המוצע לה. כמו כן משמש הצינון באזור זה כתוספת לצינון בחצר ההמתנה. ניסיון להחליף את הצינון בחצר ההמתנה בצינון באזור ההאבסה כרוך בעלות גבוהה של השקעה בציוד והוצאות הפעלה (חשמל, מיס וטיפול בנוזלים ניגרים) בסככות הפרות. לכן יש לנסות לפעיל מערכות אלו לפי הצורך בלבד. באזור

הרביצה המטרה העיקרית של האוורור היא להבטיח את הרביצה והעלאת הגירה, מאחר ושניהם לא מתקיימים כרצוי כאשר הפרה נתונה בעומס חום. מטרה שנייה של האוורור ולא פחות חשובה מבחינת תועלתה, אם כי פחות בולטת לעין, היא השמירה על היובש של המרבץ. ניתן להגביר את התיבשות המרבץ על ידי תיחוח או שידוד, בעלות נמוכה. עלייה ברטיבות המרבץ עשויה להגביל את היצרנות אף יותר מעומס החום, בשל גורמי תחלואה.

### [מהירות הרוח הדרושה](#)

## **אוורור משולב הרטבה**

בטמפרטורות אוויר מעל  $30^{\circ}$  ניתן להגביר את הפסד החום מן הגוף על ידי שילוב אוורור עם הרטבה של הפרווה. שלושה גורמים פועלים במקרה זה. האחד, **אידי מים מוציא חום רב מאד מן הגוף**. השני, כי חלפת אוויר מעל שטח רטוב מגבירה את האידי. והשלישי, הגברת מהירות הרוח (כלומר קצב החלפת האוויר מעל לפרווה) מקטינה ואף מבטלת את ההשפעה השלילית של לחות הסביבה על האידי מן הפרווה. הדברים נכונים לגבי ישום זה הן בחצר ההמתנה והן באזור ההאבסה. ביישום זה יש כמה שאלות: כמה להרטיב את הפרווה, מה הוא היחס בין מהירות הרוח לקצב האידי, וכיצד מושפע האידי על ידי לחות האוויר. שאלות אלו קיימות לגבי היישום בחצר ההמתנה ובסככה כאחד, אך הפתרונות לא בהכרח זהים.

### [הרטבת הפרווה..](#)

### [כמה זמן להמטיר וכמה זמן לאוורר?](#)

### [מהירות הרוח על פרווה רטובה.](#)

### [היישום בחצר ההמתנה.](#)

### [קבוצות העדר המועמדות לצינון חצר ההמתנה.](#)

### [צפיפות הפרות בחצר ההמתנה.](#)

### [היישום באזור ההאבסה](#)

## **קירור האוויר על ידי אידי מים**

אידי מים הנו אמצעי עתיק יומין לקירור אוויר. בזמן אידי מים, עוברת אנרגיה מן האוויר אל מולקולות המים, תנועתן נעשית נמרצת יותר, גדל המרחק בין מולקולות המים, עד שהן הופכות לחלקיקים בדידים המרחפים באוויר, היינו מעבר ממצב נוזלי למצב גזי. זה העקרון הפשוט, אלא שיישומו בסככה הוא פשוט פחות.

הביצוע הראשוני היה של המזרון הלח: שכבה ספוגית רטובה שמזרימים דרכה אוויר על ידי מאווררים. האוויר היוצא קר מן האוויר הנכנס, ולחותו כמובן גבוהה יותר. פתרון זה יקר מסיבות שונות, בעיקר עלות האנרגיה, פיזור האוויר המקורר ובלאי המזרון הלח שיש להחליפו לעתים די קרובות עקב ריבוי המלחים במים בישראל.

היישום השני של גישה זאת הוא בריסוס מים לאוויר, המים מתאדים ומקררים את האוויר. לכאורה פשוט, לא ? בפועל זה רחוק מלהיות פשוט.

### [פתרונות.](#)

### [יישום בארץ.](#)

## **מדדים להפעלת אמצעי הצינון**

רצוי היה לפתח משוואה הכוללת את תנאי האקלים ואשר בעזרתה ניתן להפעיל את מערכות הצינון באמצעות בקר. לחלופין רצוי קריטריון קל לאיבחון במשק לפיו תופעלנה מערכות הצינון. בעבר התרכזנו, ולא רק אנחנו אלא כמעט כל העוסקים בכך, בטמפרטורת הגוף כמדד עקרי ואף כמעט יחיד של עומס חום סביבתי. זה נכון גם כיום, כי טמפרטורת הגוף אינה משתנה מרגע לרגע והיא משקפת את מאזן החום של החיה. זה הוא המדד הנכון והיעיל ביותר להערכה אמינה של מאזן החום. אבל

מדידה של טמפרטורת הגוף אינה אמצעי נוח לשימוש כקריטריון לפיו יש להביא פרות לצינון בחצר המתנה או להפעלת אמצעי הצינון בסככה. לצורך זה מתאים יותר מדד המקדים את העלייה בטמפרטורת בגוף, מדד שניתן לאמוד אותו בקלות, כך שהוא ישקף את הממוצע של קבוצת פרות. לצורך זה נראה כי קצב הנשימה יכול לשמש כמדד, אם יכולים לקבוע את קצבי הנשימה המצביעים על מצב בו הפרה זקוקה לצינון.

לשם פיתוח מדדים להפעלת מערכות הצינון חושבו היחסים בין הפגת החום מדרכי הנשימה לבין טמפרטורת האוויר, לחות האוויר ומהירות הרוח. אלו חושבו תחילה עבור פרה עומדת, כשכל שטח גופה חשוף לאוויר החופשי. אבל הרוח באה מכיוון מסוים, ולכן היא משפיעה לרוב על חלק משטח הגוף. כמו כן הפרה מבלה חלק ניכר מזמנה כשהיא רובצת, במרחק מפרות אחרות או בסמוך אליהן. בתנאים אלו מצטמצם שטח הגוף החופשי אל אוויר הסביבה. תרומתם של גורמים אלו חושבה גם כן.

[השפעת טמפרטורה ולחות אוויר.](#)

[השפעת מהירות הרוח.](#)

[השפעה משולבת של טמפרטורה, לחות ורוח.](#)

[השפעת רביצה וצפיפות.](#)

**שגרת הפעלה של אמצעי הצינון**  
**סיכום**

**חצר ההמתנה.** כל הפרות החולבות שבעדר שוהות בחצר ההמתנה 10 עד 30 דקות, 2 עד 3 פעמים ביממה. **לכן הצינון בחצר המתנה חייב להיעשות באופן שהוא מוציא מגוף הפרה מקסימום של חום תוך פרק זמן זה.** הצינון שפתחנו בישראל לחצר ההמתנה הוא אמצעי הצינון עתיר העצמה ביותר הקיים להוצאת חום רב מגוף הפרות בזמן קצר, אם הוא מופעל נכון. חצר ההמתנה יכולה לספק צינון לכל הפרות, ולכן השקעה בצינון בחצר ההמתנה תשרת את כלל הפרות החולבות שבעדר. אפשרי להביא אל חצר ההמתנה פעמים נוספות ביממה, אם חצר ההמתנה פנויה ואם יש בכך תועלת. האפשרות להביא את הפרות פעמים נוספות לחצר ההמתנה לצורך צינון תלויה במשך הזמן בו לא נחלבות פרות ובהקצאת כוח אדם לכך. ככל שמספר הפרות הנחלבות במכון גדול יותר, היינו עם עליית גודל העדר, יקטן הזמן הפנוי לניצול חצר ההמתנה כ"מרכז צינון" של העדר ותגדל התלות בצינון בסככה.

**הסככה.** הפרה שוהה בסככה במרבית שעות היממה. **על כן שיטות הצינון המופעלות בסככה יכולות להיות מכוונות להוצאת חום ממושכת יותר ופחות נמרצת מן השיטות המתאימות לחצר ההמתנה.** עם עליית מספר השעות בהן עסוק מכון החליבה בחליבת הפרות, גדל הצורך בצינון בסככה, עד שהוא עשוי אף להפוך לאתר הצינון העיקרי. מכאן הצורך לבחון אופציות שונות לצינון בסככה, אופציות אותן יש לממש לפי צרכי הפרות. הסככה יעודה להאבסה ולרביצת הפרות. שיטות הצינון צריכות להיות מותאמות לסיפוק שני הצרכים האלו, החיוניים במידה דומה ליצרנות.

המירבץ, במידה והינו רטוב, מכיל בתוכו מספרים גדלים והולכים של חיידקים אנארוביים (שמשגשים בהעדר אוויר) וביניהם חיידקי קולי ואחרים הגורמים לדלקות עטין וטלפיים. הוספת מים לסככה באמצעות מערכות צינון עשויה להגדיל את רטיבות המרבץ וכמות הפרש.

הרצון לצמצם את הזיהום הנגרם ע"י הפרשות הבקר ובמקביל השאיפה להקטין את השטח הכולל לפרה הביאו להתחדשות הנטייה של הקמת סככות תאי רביצה. בסככת תאי רביצה רובו של הפרש (98%) מופרש במדרך לאורך האבוס, במעברים ובמדרך הסמוך לשולי המבנה (אם מדובר על שורות תאים ראש מול ראש). לעומת זאת בסככה הכוללת רק כ- 70% - 60% מהפרש מופרשים במדרך לאורך האבוס והיתרה באזור הרביצה. בסככה הכוללת, הפרש המופרש בזמן התנועה ובאזור הרביצה אמור להתייבש שם לדרגה גבוהה אם השטח לפרה והאוורור מצויים במידה מספקת. בתנאים אלו נוזלי הפרש לא חודרים לעומק, אלא מתאדים אל האוויר משכבות הפרש העליונות ולכן אינם מזהמים את הסביבה - למעט הפחמן בדו-חמצני הנפלט מן הפרש בעת תסיסתו. לכן יש להרחיק מן הסככה הכוללת באופן תדיר רק את הפרש שמופרש לאורך פס ההאבסה. לעומת זאת, מסככת תאי רביצה יש לפנות מאזור זה גם את הפרש המופרש בעת הרביצה והתנועה, כלומר כלל הפרש שהפרה מפרישה. בפועל, בסככת תאי רביצה יש לפחות הכפלה של כמות הפרש שיש לטפל בה כשהיא בצורת דייסה חצי נוזלית בהשוואה לסככה כוללת. להבדל זה בנפח ובריכוז הנוזלים יש משמעות רבה בחישוב עלויות הטיפול בסככה. הוספת נוזלים עקב מערכות הצינון עשויה להיות בעייתית יותר בסככת תאי רביצה מאשר בסככה כוללת.

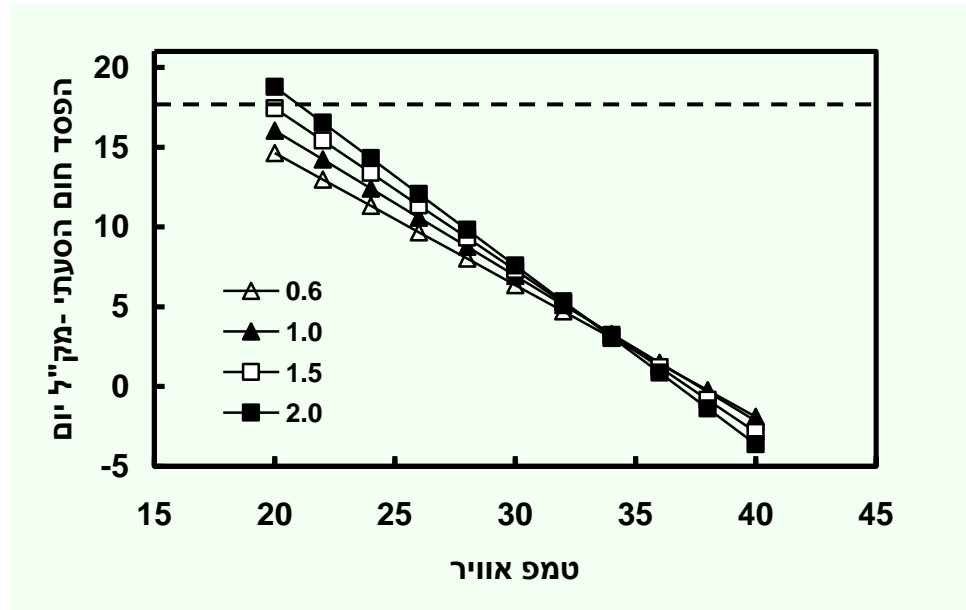
## שיטות הצינון

לרשותנו עומדים שלושה אמצעים להקלת עומס החום: האוורור המאולץ, שילוב הרטבה ואוורור של הפרווה, וקירור האוויר על ידי אידוי מים.

**מהירות הרוח הדרושה.** מה היא השפעת הרוח על הפרה? עד לאחרונה יכולנו להעריך את חשיבותה מתוך אותם ניסויים לא רבים שנערכו, והיינו הראשונים לבחון את יישומו בעדר לפני כ- 25 שנים. רק לפני 3 שנים התפרסם מודל סימולציה פיזיקלי - פיזיולוגי לחילוף החום של פרה שלמה - מילים יפות, לא כן? מודל זה נכתב על ידי חוקרים אנגליים על בסיס המידע שנגזר מן הניסויים הרבים בהם נחקרה זרימת החום בין הבקר לבין סביבתו. חסרונו של המודל היה כי הוא היה בנוי לפרות עם פרווה חורפית, תיפקודי נשימה חושבו מאלו של עגלות בשר ושטח הגוף המחושב היה מופרז ב-25%. עם קבלת המודל הזה מיוצרו לצורך מחקר יכולתי להתאימו לפרה הולשטיין מאוקלמת לקיץ, ורק אחר כך ניתן היה להתחיל לבחון שאלות שונות. לשם כך הרצתי כ- 2000 סימולציות של חילוף חום במצבים שונים והדברים שלהלן נשענים עליהן.

מן הפלט של מערכת הסימולציה לחילוף החום של הפרה ניתן היה לקבל את התגובות שהפרה מפעילה לשם שמירת מאזן החום בגופה. הפרה מפעילה קודם את ההזעה, וכאשר זו מגיעה לערכה המרבי, היא מפעילה את האידי הנשימה על ידי הגברת קצב הנשימה, "ההתנשמות". זו מופעלת עד לעוצמה מירבית, התלויה במשקל הגוף. במהלך ההתגברות של קצב הנשימה לערכים גבוהים, מעל 65% מהערך המירבי, מתחילה גם עלייה של טמפרטורת הגוף.

בשלב ראשון נבחן את השפעתה של מהירות הרוח על הפסד החום ההסעתי-קרינתי מן העור (איור 1). בחלקו העליון של האיור מופיע יצור החום של פרה המניבה 35 ק"ג חלב ליום (למעט הפסד החום המזערי מדרכי הנשימה, כ-10% מכלל יצור החום). התמונה הכללית היא שכמות החום המוסעת מן הגוף יורדת עם עליית הטמפרטורה של הסביבה. העקרון היה ידוע מזמן, אבל קצב הירידה מתברר רק עתה. האיור מתאר את השוני בכמות החום המוסעת בהתאם למהירות הרוח.



איור 1. הפסד חום הסעתי מן העור על ידי הסעה וקרינה (מ"קל ליממה) במהירויות רוח עולות מ-0.2 ועד 2 מ' שנייה.

מהירות רוח של 0.2 מ'שנייה (לא מוצגת באיור) משקפת מצב בו כמעט ולא מורגשת רוח ואילו מהירות של 2.0 מ'שנייה היא מהירות ממוצעת של רוח ים. מאיור זה בולטות שתי תופעות עיקריות. האחת כי ההגברה של הפסד החום על ידי אוורור, הנאמדת על ידי ההפרש בין מהירות רוח של 0.2 מ'שנייה לבין 2.0 מ'שנייה, פוחתת עם עליית הטמפרטורה של הסביבה עד כי בטמפרטורות של  $32.5^{\circ}$  ומעלה ההפרש זניח. משמעות הדבר כי מבחינת הפסד החום על ידי הסעה וקרינה (הפסד חום שלא מעורב בו אידי מים מן העור) אין יתרון בהפעלת מאווררים בטמפרטורות אוויר מעל  $32.5^{\circ}$ . אך עדין יכול להיות יתרון בכך מבחינת אידי מים מן העור ומן הרפד. על כך בהמשך.

התופעה השנייה אליה יש להסב תשומת לב היא כי אם הרוח היא במהירות של 2.0 מ'שנייה, וטמפרטורת האוויר נמוכה מ- $22-23^{\circ}$  הפסד החום מן העור יהיה גדול מיצור החום של פרה המייצרת 35 ק"ג חלב. במהירות רוח של 1.5 מ'שנייה הדבר יקרה בסביבות  $20^{\circ}$ . לפרה יש שליטה מעטה יחסית על הפסד חום ההסעתי מן העור, למעט הצטופפות או רביצה המקטינות את שטח הגוף החשוף לרוח. מכאן שבתנאים אלו הפרה תגביר את יצור החום כדי לאזן את יצור החום בגוף עם הפסד החום ממנו. צפויה הגברה של צריכת המזון, ללא תמורה ביצור חלב, כפי שנוכחנו לדעת בניסויים מוקדמים. עבור פרות שתנובתן 25 ק"ג ליום, הדבר עשוי לקרות בטמפרטורת אוויר גבוהה ב- $5^{\circ}$  כלומר ב- $27.5^{\circ}$ .

התופעה השלישית היא כי בטמפרטורות שלמטה מ- $30^{\circ}$  ההפרש בין מהירויות הרוח פוחת ככל שעולה המהירות: הגברת המהירות מ-0.2 ל-0.6 מ'שנייה מניבה את התוספת הגדולה ביותר בהפסד החום מן העור. הגברת המהירות מ-1.5 ל-2 מ'שנייה נותנת את התוספת הקטנה ביותר בהפסד החום מן הגוף. לכך משמעות כלכלית רבה, כי הדבר משמעי להערכת הספקי המאווררים וצפיפותם הדרושים בסככה.

הממצא החשוב ביותר הוא כי האוורור כשלעצמו כמעט חסר השפעה על מצבה של הפרה בטמפרטורות שמעל  $30^{\circ}$ . מה הוא האמצעי העומד לרשותנו כדי להגדיל את הפגת החום מגוף הפרה טמפרטורות אלו?

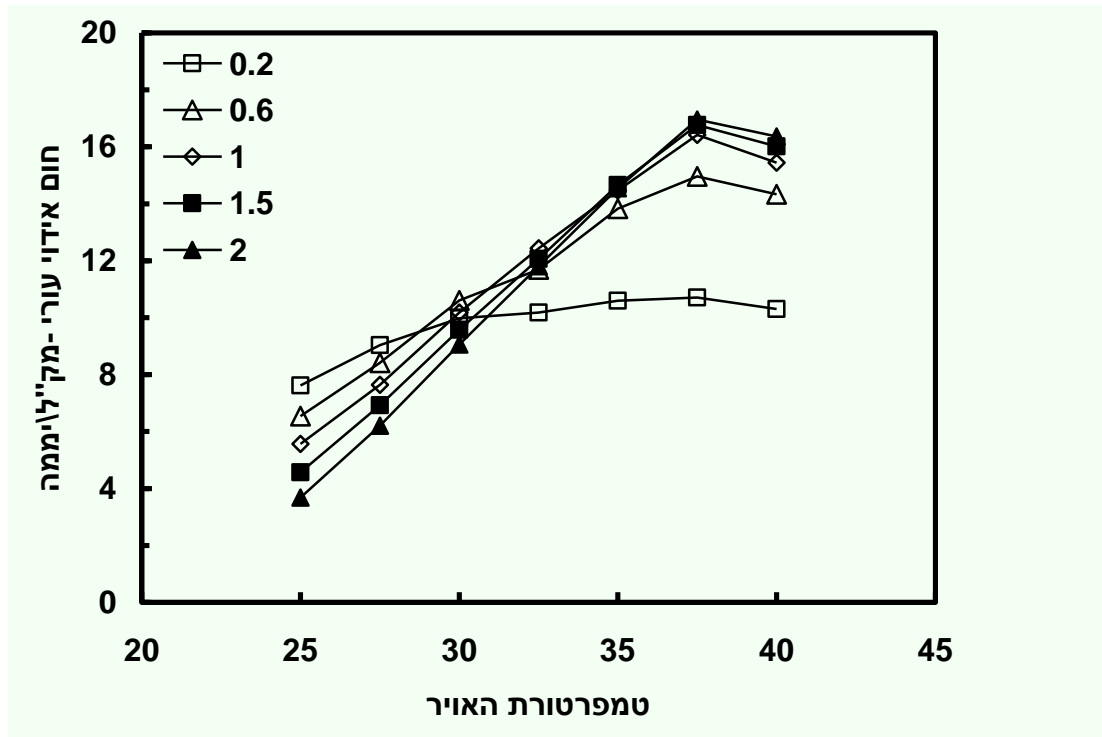
## אוורור משולב הרטבה

**הרטבת הפרווה.** השיטה שפתחנו משלבת הרטבה של הפרווה עם הזרמת אוויר. היא מושתתת על הנחה פשוטה שעל ידי אוורור הפרווה הרטובה קורים שני דברים. האחד כי מגבירים את האידיוי של המים מן הפרווה ועל ידי כך מוציאים כמות חום גדולה יותר בכל דקה של אוורור. את זה ידע מזמן כל סוס רטוב. הדבר השני, הוא כי אם מהירות הזרימה של האוויר גדולה מספיק, אזי קצב האידיוי והרחקת החום לא יהיה תלוי בלחות האוויר. כלומר בקילוח המשולב באוורור קצב האידיוי יישמר גם כאשר לחות האוויר היא גבוהה. הנחה שנייה זאת הנחנו בעבר, אבל לא ידענו באיזה מהירויות זרימה היא נכונה. מצבנו לא היה שונה בהרבה מזה של סוס רטוב. התשובה המעשית הייתה להמליץ על אוויר גבוהות. הטרידה מאד האפשרות שאי הידיעה גורמת להוצאות מיותרות עקב ריבוי מאווררים והפרזה בגודלם. מסיבה זאת פניתי לבחינה יסודית של נושא זה.

כמות החום שתוצא מן הגוף תלויה בכמות המים שתיאגר בפרווה עם ההרטבה ותתאדה ממנה בהשפעת הרוח. כאשר התרסיס הוא דק ונישא ברוח הוא מורכב מטיפות קטנות הנצמדות על פני הפרווה ואינן חודרות פנימה אל תוכה. חום האידיוי שלהן יבוא ברובו מן האוויר ולא מן הפרה. חדירה של מים אל עומק הפרווה והרווייתה במים ניתנת להשגה רק אם ממטירים בטיפות שקוטרן קרוב ל-1 מ"מ. זאת במיוחד אם טיפות אלו מוחדרות אל תוך הפרווה במהירות גבוהה בסיוע הרוח. אין שום אמצעי אחר אשר ישווה לשיטת צינון זאת ביעילותו, ולכן הצינון בחצר ההמתנה צריך לקבל את תשומת הלב שהוא ראוי לו, הן במידת השימוש בו והן בהקפדה על אופן השימוש.

**כמה זמן להמטיר וכמה זמן לאוורר?** נגירה של מים מן הפרה מעידה על הרווייה של הפרווה. לכן ההרטבה צריכה להפסק עם הופעת הנגירה. מאידך, צריכה ההרטבה להתחדש כאשר השערות מתחילות להתבדר ברוח, סימן שהפרווה החלה להתייבש. זה אומר כי ההרטבה צריכה להמשך במשך פרקי זמן קצרים, עד להתחלת נגירה של מים מן הפרווה ולא יותר. בין פרקי הזמן של ההרטבה יש לקיים רוח על פני חלק גדול ככל האפשר של גוף הפרה. ההנחיה של הרטבה למשך 0.5 - 1 דקה ו-4 דקות אוורור היא הנחיה כללית לצורך השגת קצב קירור מירבי (כאשר המתזים פולטים כמות גדולה של מים), כמבוקש בחצר ההמתנה. חשוב לזכור כי באזור ההאבסה פתרון זה אינו היחיד. אין ספק כי ישנם מצבים רבים בהם אפשר וצריך להגדיל את מרווחי הזמן בין ההרטבות. משכי הזמן הנכונים בכל מקום תלויים בטמפרטורת האוויר, בפעולת המאווררים והממטירים וכן בלחות האוויר (ששונה מאזור לאזור).

**מהירות הרוח על פרווה רטובה.** מה היא מהירות הרוח הדרושה לאחר הרטבת הפרווה עבור פרה בקיץ בישראל? את זאת ניתן לראות ביחסים בין אידיוי המים מן העור המכוסה פרווה בעובי 3 מ"מ לבין מהירות הרוח המובאים באיור 2.



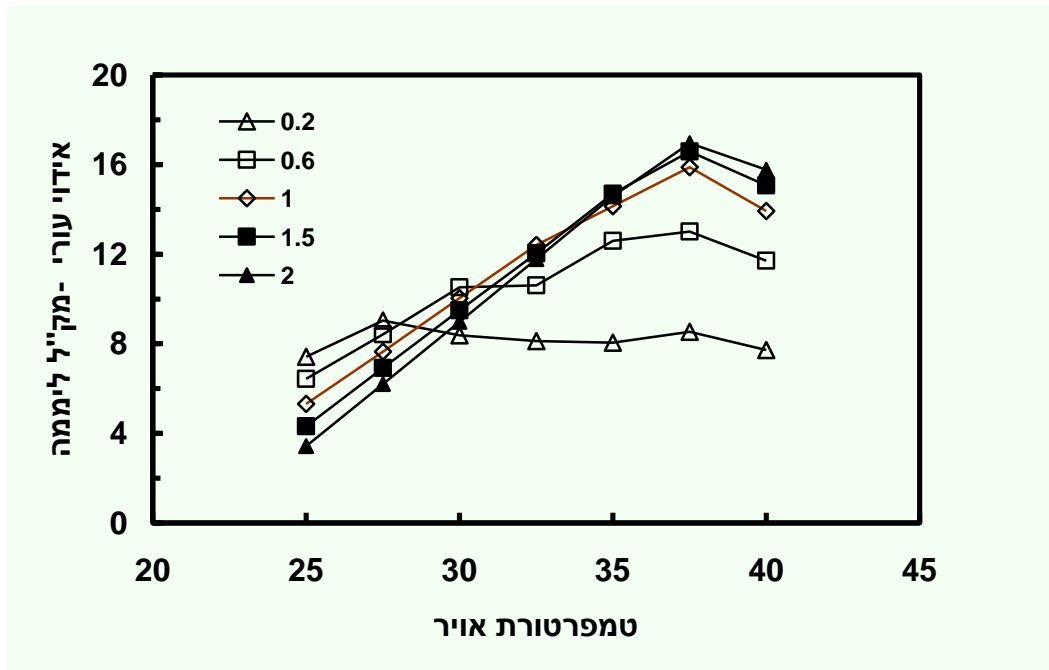
איור 2. היחסים בין אידיוי המים מן העור (מ"קל ליממה) לבין מהירויות רוח עולות מ- 0.2 ועד 2 מ' שנייה.

מאיר זה בולט כי באופן כללי האידיוי מן העור גדל עם עליית הטמפרטורה של האוויר. הדבר מובן מאליו, כי זאת סימולציה של הקורה בגוף פרה: עם עליית הטמפרטורה של האוויר פוחת הפסד החום ההסעתי-קרינתי (כפי שנראה מאיור 1), ושמירת מאזן החום מחייבת הגברה של האידיוי. ההשפעה של מהירות הרוח מתבטאת בשיפוע הקווים ובטמפרטורת האוויר שבה האידיוי העורי מגיע לשיאו.

כאשר מהירות הרוח היא 0.2 מ/שנייה, בטמפרטורות הנמוכות האידיוי הוא גבוה ביותר מאשר ברוח חזקה יותר, העלייה של האידיוי העורי עם הטמפרטורה היא האיטית ביותר, והיא מגיעה לשיאה כבר ב- $30^{\circ}$ . זאת כי במהירות רוח נמוכה זו הפסד החום על ידי הסעה הוא הקטן ביותר ועל כן הפרה נזקקת יותר לאידיוי. עקב ההסעה הנמוכה האידיוי הוא מוגבר, אבל הוא עולה בשיעור קטן עם עליית הטמפרטורה הסביבתית כי ברוח חלשה האוויר שסביב הפרה אינו מתערבל עם אוויר הסככה. בטמפרטורות שמעל  $30^{\circ}$  הצורך באידיוי גדל מאוד, אבל שכבת האוויר הנייח סביב הפרה פועלת כמעין שכבת בידוד ומונעת את הגברת האידיוי.

כאשר מהירות הרוח היא 0.6 מ/שנייה, מוצאים תופעה דומה, אבל בעוצמה פחותה. שכבת הבידוד אמנם קיימת, אבל היא דקה יותר, ולכן היא רק מקטינה את האידיוי המירבי מן העור. במהירויות של מעל 0.6 מ/שנייה (כולל) קצב אידיוי החום מהעור הולך ועולה עם העלייה בטמפ' האוויר מעל ל- $30^{\circ}\text{C}$  ולכן מהירויות אלו מתבקשות בטמפ' גבוהות. האידיוי המירבי מושג כאשר מהירות הרוח היא של 1 מ/שנייה ויותר, ללא הבדלים משמעותיים באידיוי בין מהירות זאת לבין מהירויות אוויר גבוהות יותר. אם מחברים את אלו, מתקבל כי מבחינת הפסד החום ההסעתי וכן זה שעל ידי אידיוי מים אין לצפות ליתרון מהגברת האוויר למהירויות שמעל 1 מ/שנייה. דבר זה נכון הן לגבי המהירות הרוח הדרושה בחצר ההמתנה והן זו הדרושה בסככה. אבל מה יקרה בלחיות אוויר גבוהות ?





איור 3. היחסים בין איזוי המים מן העור (מ"קל ליממה) לבין מהירויות רוח עולות מ- 0.2 ועד 2 מ' שנייה, כאשר לחות האוויר גדולה מ 3 קילו-פסקל.

באיור 3 מובא האיזוי מן העור כאשר לחות האוויר היא גבוהה, כלומר יותר מ 70% ב- $30^{\circ}$ , או 55% ב- $35^{\circ}$ . אלו מצבים של עקת חום כבדה, בגלל צרוף של טמפרטורה ולחות גבוהים. בהשוואה בין איור זה לבין איור 2, ניתן לראות כי בלחות אוויר גבוהה קטן האיזוי מן העור כאשר זרימת האוויר נמוכה מ- 0.6 מ' שנייה. אם בלחות בינונית (היינו 60%, 45% ו-35% בטמפרטורות של  $30^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$  ו- $40^{\circ}$  בהתאמה) הספיקה זרימת אוויר של 0.6 מ' שנייה כדי לקיים איזוי כמעט מירבי, הרי שבלחות גבוהה דרושה לכך זרימת אוויר חזקה יותר.

מכאן נובע כי הקפדה על מהירות זרימת האוויר חשובה במיוחד כאשר הלחות גבוהה. מאחר ובארץ הרוח המערבית היא הרוח השלטת בימי הקיץ, דברים אלו חשובים עבור מקומות הנמצאים ממזרח לשטחי מים (משקים בקרבת הים וממזרח לכנרת) בהם הרוח המערבית מעלה את לחות האוויר. תנאים של לחות גבוהה מאפיינים את חצר ההמתנה בזמן הפעלת המתנים. לכן ציפוף מיותר של הפרות בחצר ההמתנה, אשר מביא להקטנה קיצונית של מהירות זרימת האוויר על רוב שטח הגוף של הפרות יקטין באופן משמעותי ביותר את יעילות הצינון בחצר ההמתנה.

**חשוב להבליט כי כל הנאמר כאן מכוון למהירות הרוח משני צדי גוף הפרה, ולא למהירות הרוח באוויר שמעל לגב הפרה.**

**היישום בחצר ההמתנה.** זה יהיה לא נכון לראות את הצינון בחצר ההמתנה כעניין של "הכול או לא כלום". עומס החום הסביבתי משתנה במשך השנה. הוא מתבטא בראשית העונה החמה בעליית טמפרטורות הגוף בשעות הצהריים, בהתקדם העונה נמשכות טמפרטורות הגוף הגבוהות אל תוך שעות הערב, ולאחר מכן אל תוך שעות הלילה. השימוש היעיל בחצר ההמתנה לשם צינון צריך להיות מדורג ומותאם לצורך בו. בראשית העונה החמה מספיקה הפעלת הצינון בחליבת הצהריים, בהמשכה בצהריים וערב, אחר כך בבוקר בצהריים ובערב. בשיא החום ובאזורים החמים כדאי להביא את הפרות לחצר ההמתנה גם בין חליבות הבוקר לחליבות הצהריים וכן בשעות אחר הצהריים. בהתקדם הסתיו, עם ירידת הטמפרטורות הליליות ואחר כך של טמפרטורות הצהריים, כדאי לנקוט במהלך הפוך של הקטנת השימוש בצינון בחצר ההמתנה.

שימוש מדורג כגון זה יאפשר חסכון ניכר בצריכת החשמל והמים. צינון בעונה שבה חלה ירידה בטמפרטורות לא רק שאין בו תועלת אלא עלול לגרום לעלייה של צריכת המזון ללא תמורה בחלב.

**קבוצות העדר המועמדות לצינון חצר ההמתנה.** השימוש המדורג בצינון נכון לא רק במהלך השנה, אלא גם לגבי הפרות הזקוקות לצינון. הקריטריון הבסיסי הוא יצור החום בגוף הפרה, התלוי בעיקרו בתנובת החלב. כיום מקובצות הפרות החולבות בדרך כלל למבכירות ולבוגרות ורק לעיתים מסווגות הבוגרות לגבוהות ונמוכות תנובה. תנובת החלב של מבכירות נמוכה ב- 10%-15% מזאת של הפרות. לפיכך גם רגישותן לחום הסביבתי היא קטנה יותר, אבל לא בהרבה. אם להתייחס למספר הצינונים בחצר המתנה, אפשר להניח כי הן זקוקות לצינון אחד ביום פחות מאשר הפרות הבוגרות. בדרך כלל נמצאות הפרות באותה קבוצה משבועיים אחרי ההמלטה ועד לסוף התחלובה ועל כן פרות הקבוצה נבדלות מאד בתנובת החלב שלהן. השוני בייצור החלב ביניהן חייב להיות מטופל בדרך פרטנית, על ידי מתן אפשרות לצינון התנהגותי כלומר התמקמות הפרה, מתוך בחירתה היא, במקום בו היא יכולה לקבל צינון. זה מחייב הימצאות מקומות בסככה, בהם פרות הרוצות בכך יכולות לקבל צינון במנות גדולות מחברותיהן שתנובתן נמוכה יותר.

הפרות היבשות הן קטגוריה נפרדת של התייחסות. רגישותן לחום סביבתי קטנה מזו של הפרות החולבות, כי יצור החום שלהן קטן בהרבה. אך ממצאינו הראו כי פרות בחודש האחרון לתקופת היובש מגיבות לצינון בהגדלה התנובה שלאחר ההמלטה. משום כך נראה כי צפוי יתרון מהבאתן לחצר ההמתנה בצהרי הימים החמים.

**צפיפות הפרות בחצר ההמתנה.** אם הפרות צפופות, הן לא תורטבנה כדרוש על ידי הממטירים וגם הרוח תזרום מעל הפרות ולא על פני גופן. הצפיפות של הפרות בחצר ההמתנה תקבע את גודל שטח הגוף שיורטב על ידי הממטירים ואת גודל שטח הגוף אליו תגיע הרוח הדרושה כדי לאדות את המים שבפרווה ובכך לצנן את הפרות. אלו קובעים את יעילות הצינון. הצפיפות בפועל של הפרות בחצר ההמתנה תלויה בשטח לפרה בחצר ההמתנה, אבל עוד יותר תלויה היא במידה בה מצופפים את הפרות על ידי הכלב החשמלי. מיקום המאווררים בחצר ההמתנה כך שתנועת האוויר תהיה עם כיוון עמידת הפרות (הן נוטות לעמוד כשראשן כלפי מכוון החליבה בשל השיפוע) ישפר מאוד את תנועת האוויר משני צידי גופן.

**היישום באזור ההאבסה.** הצינון באזור ההאבסה יכול להשיג שלוש מטרות: הוצאת חום מן הפרה, קירור העור שיעודד אכילה, והשגת מאזן חום שיאפשר רביצה. הממצאים שהבאנו עבור הצינון בחצר ההמתנה תופסים גם לגבי השילוב של הרטבה ואוורור לאורך אזור ההאבסה. קיים שוני בין שני האזורים מבחינת הרוח אליה נחשפות הפרות ועוצמת הקירור הדרושה.

כל עוד הפרות קשורות או אוכלות באבוסים, החשיפה לרוח דומה למצוי בחצר ההמתנה (שבה המאווררים מותקנים בצדי חצר ההמתנה): הפרות צפופות והן חוסמות זו לזו את רוח המאוורר. באזור ההאבסה כל עוד הפרות קשורות בעולים, הפרות מקבילות זו לזו. לכן קיימת השפעה מצטברת של חסימת הרוח. על גב הפרות זורמת רוח שמהירותה תלויה בסוג המאוורר, בכיוונו ובמרחק ממנו. כ בצד הגוף הפונה כלפי המאוורר רק הפרה הראשונה מקבלת את מלוא מהירות הרוח, שהיא לרוב מעל 1.5 מ'שנייה. בצד הגוף הרחוק מן המאוורר ועל פני הבטן מהירויות הרוח נמוכות בהרבה (0.1 ו-0.4 מ'שנייה בהתאמה) מאשר בצד הפונה כלפי המאוורר. כך שהמהירות הממוצעת של הרוח על פני גוף הפרה יהיה בסביבות 0.8-0.9 מ'שנייה. מן הפרה השנייה ואילך מהירות הרוח גבוהה יחסית בחלק העליון של הגוף אך פוחתת מאד ככל שיורדים כלפי הבטן. במדידות שערכנו בצד הגוף הנגדי לרוח מצאנו מהירויות שדועכות מ-0.6 עד 0.9 מ'שנייה בחלק העליון והאמצעי של הגוף ועד לאוויר ניח באזור הבטן. כך שעבור הפרה השנייה מן המאוורר ואילך מהירות הממוצעת של הרוח על הגוף תהיה בסביבות 0.4-0.8 מ'שנייה. עם הפסקת האכילה, או שחרור העולים, חלק ניכר מן הפרות מסתדרות כאשר עכוזן כלפי המאוורר, כך שהרוח עוברת משני צדי הגוף. במצב זה הן מקבלות את מלא הרוח האפשרית, בהתאם למרחק מן המאוורר. **לכן בתקופה החמה אין יתרון להחזקת הפרות קשורות בזמן שהן אוכלות.** בשיטת החזקה וההזנה הנוגה כיום בארץ אין משמעות לקשירת הפרות ליד האבוס אלא מיד לאחר החליבה וזאת רק למשך הזמן הדרוש להתכווצות וסגירת מבוא הפטמה לאחר החליבה. יהיה מקום לשיקול נוסף אם יותקנו מאווררים הפונים כלפי מטה והנעים על ציר אופקי, כך שהפרות תאווררנה משני צדי הגוף.

כיום המצוי במשקים לא מעטים הוא צינון מירבי לאורך האבוס, המתבטא במערכות צינון והפעלה דומות ביותר לאלו שבחצר ההמתנה. גישה זאת נראית בזבזנית בהוצאות חשמל ועלויות הטיפול במים. הרחקת חום מתונה למשך זמן ארוך יותר, האפשרית בסככה, שווה או גדולה בתוצאתה להרחקת חום אינטנסיבית במשך זמן קצר. אם הקירור הוא אינטנסיבי הפרה מגיבה בהקטנת ההסעה של חום אל העור,

כך שאפקט הקירור מצטמצם. אם הקירור נמשך זמן רב, הדבר יגרום להגדלת צריכת המזון ללא תוספת ייצור. הפרות גם עוזבות את האזור המצונן ועוברות לאזורים אחרים. יש כמה יתרונות לצינון פחות אינטנסיבי. אם הפרה אכלה, ואינה סובלת מעקת חום, היא תעבור לרבוץ. במקום לרכז את כל ההשקעה במאווררים לאורך פס ההאבסה, רצוי להפעיל אוורור גם באזור הרביצה. אוורור זה יאפשר לפרה לקיים את העלאת הגירה וכן את הרביצה הדרושים ללא קימה ועמידה לצורך התנשמות.

אפשר לכן לדרג את עוצמת הצינון על ידי הקטנת מספר המאווררים הפעילים והגדלת מרווחי הזמן בין ההרטבות. הקטנת מספר המאווררים הפעילים יכול להיות מבוסס על הפעלת המאווררים רק באזורים בהם הפרות מרביות לשהות, או על ידי הפעלת כל מאוורר שני, או הפעלת המאווררים כאשר הפרה/הפרות קוטעות קרן. מבלי שיש נסיון ספציפי בכך, נראה כי הפעלת המאווררים על ידי כניסת הפרה לאזור האוורור עשויה להיות בעייתית. קל יותר ללמוד כי אזור מסוים הוא מאוורר מאשר ללמוד כי אם נכנסים לאזור מסוים אז יופעל בו אוורור. הפעלות והפסקות תדירות של עבודת מאוורר עשויות לקצר את חייו. לכן נראה כי בשלב זה פתרון של צמצום האזורים בהם פועלים מאווררים עשוי להיות רצוי יותר מהפעלת המאוורר על ידי כניסת הפרה לתחום פעולתו. את אלו ניתן לעשות תוך שימוש במדדים להפעלת אמצעי הצינון שמובאים בהמשך. חיוני לקיים במקביל מעקב אחר צריכת המזון.

### קירור האוויר על ידי אידי מים

אידי מים הנו אמצעי עתיק יומין לקירור אוויר. בזמן אידי מים, עוברת אנרגיה מן האוויר אל מולקולות המים, תנועתן נעשית נמרצת יותר, גדל המרחק בין מולקולות המים, עד שהן הופכות לחלקיקים בדידים המרחפים באוויר, היינו מעבר ממצב נוזלי למצב גזי. זה העקרון הפשוט, אלא שיישומו בסככה הוא פשוט פחות.

**פתרונות.** הביצוע הראשוני היה של המזרון הלח: שכבה ספוגית רטובה שמזרימים דרכה אוויר על ידי מאווררים. האוויר היוצא קר מן האוויר הנכנס, ולחותו כמובן גבוהה יותר. פתרון זה יקר מסיבות שונות, בעיקר עלות האנרגיה, פיזור האוויר המקורר ובלאי המזרון הלח שיש להחליפו לעתים די קרובות עקב ריבוי המלחים במים בישראל.

היישום השני של גישה זאת הוא בריסוס מים לאוויר, המים מתאדים ומקררים את האוויר. לכאורה פשוט, לא? בפועל זה רחוק מלהיות פשוט. הפתרון האידיאלי הוא של ריסוס בלחץ גבוה דרך חריר קטן, היוצר טיפות זעירות די אחידות בגודלן הנישאות באוויר ומתאדות בו. אלא שבמצב זה האוויר נעשה רווי באדי מים, היינו לחות יחסית של 100%. כאשר אוויר מגיע ללחות יחסית זאת, לא יתכן אידי נוסף של מים אל תוכו. משמעות הדבר כי הפרה לא יכולה לאדות מים כל שהם מגופה לשם קירור, וגם לא יתאדו מם מן הרפד. מקובל לחשוב כי הלחות היחסית המירבית אליה בקר ועופות יכולים להסתגל היא בגבולות 70%. יש לכן להציב מגבלות לקירור האוויר על ידי אידי, ולהניח כי לחות האוויר לא תעלה על 70%. עד כמה ניתן להפחית את טמפרטורת האוויר על ידי אידי מים באוויר? לשם קבלת אומדן חושבה הירידה הצפויה בטמפרטורה של אוויר שיגיע עד ל-70% לחות יחסית, כאשר לחות האוויר החיצוני והטמפרטורה שלו משתנים. נתונים אלו מופיעים בטבלה 1.

| טמפ. אוויר | לחות יחסית באוויר |      |     |
|------------|-------------------|------|-----|
|            | 20                | 40   | 60  |
| 28         | 13.6              | 9.4  | 6.0 |
| 30         | 14.3              | 10.0 | 6.2 |
| 32         | 15.0              | 10.4 | 6.4 |
| 34         | 15.7              | 10.8 | 6.6 |
| 36         | 16.5              | 11.3 | 6.8 |
| 38         | 17.0              | 11.6 | 7.2 |
| 40         | 17.3              | 12.1 |     |

טבלה 1. הירידה בטמפרטורת האוויר הצפויה עקב אידוי מים בו עד להגעת הלחות היחסית ל-70% , בהתאם לטמפרטורה והלחות ההתחלתיים.

מטבלה זאת בולט השוני הרב בירידה בטמפרטורה עקב אידוי מים, התלוי בעיקר בלחות והרבה פחות בטמפרטורה ההתחלתיות של האוויר. לפי נתונים אלו אפשרי לכאורה להפיק הפחתה רבה בטמפרטורת האוויר על ידי אידוי מים, ולהקל על שפעת החום הסביבתי. אך בפועל התועלת הצפויה לבקר פחותה, כיון שהעלאת הלחות תפחית את יכולתה של הפרה לאדות מים לצורך ויסות חום הגוף. כדי לקבל אומדן מקורב יותר למצב האמיתי, יש לנכות מערכים אלו את ההשפעה השלילית של הלחות הגבוהה על איזון החום של הפרה. חישובים אלו נעשו באמצעות מודל הסימולציה עבור פרה עם פרווה קיצית המניבה 35 ק"ג חלב, והמצויה ברוח של 0.4 ו- 1.5 מ"שנייה, כשהיא עומדת וכשהיא רובצת (בטבלה 3).

| טמפ. אוויר | לחות יחסית באוויר חיצוני |     |                 |     |
|------------|--------------------------|-----|-----------------|-----|
|            | 20                       |     | 30              |     |
|            | פרה עומדת                |     | פרה רובצת       |     |
|            | רוח 1.5 מ"שנייה          |     | רוח 1.5 מ"שנייה |     |
| 28         | 2.7                      | 1.3 | 0.1             | 0.1 |
| 30         | 2.8                      | 1.2 | 0.1             | 0.1 |
| 32         | 2.8                      | 1.0 | 0.1             | 0.1 |
| 34         | 2.8                      | 0.9 | 0.1             | 0.0 |
| 36         | 2.8                      | 0.6 | 0.1             | 0.0 |
| 38         | 2.7                      | 0.4 | 0.1             | 0.0 |
|            | רוח 0.4 מ"שנייה          |     | רוח 0.4 מ"שנייה |     |
| 28         | 7.4                      | 3.4 | 0.8             | 0.4 |
| 30         | 7.6                      | 3.3 | 0.8             | 0.3 |
| 32         | 7.7                      | 2.8 | 0.8             | 0.3 |
| 34         | 7.7                      | 2.3 | 0.8             | 0.3 |
| 36         | 7.6                      | 1.7 | 0.8             | 0.3 |
| 38         | 7.3                      | 1.2 | 0.8             | 0.3 |

טבלה 3. הירידה המחושבת האפקטיבית בטמפרטורת האוויר הצפויה עקב אידוי מים בו עד להגעת הלחות היחסית ל-70% , בהתאם לטמפרטורה והלחות ההתחלתיים והרוח בה מצוייה הפרה וכן בהתאם להיותה עומדת או רובצת.

בטבלה זו מוצגים הערכים שהתקבלו עבור אוויר סביבה שלחותו היחסית היא 20% או 30%. בלחיות יחסיות גבוהות יותר התקבלו ערכי "אפס" או ערכים שליליים. מה הסיבה לכך? כאשר מקטינים טמפרטורה על ידי אידוי מים פועלים שני גורמים. האחד, העלאת הלחות אשר מכבידה על הקירור הפרה. השני, הקטנת הטמפרטורה אשר משפרת את הקירור של הפרה. **כאשר הלחות יחסיות באוויר החיצוני מעל 30% ההכבדה של תוספת הלחות גדולה מן ההקלה של הקטנת הטמפרטורה.**

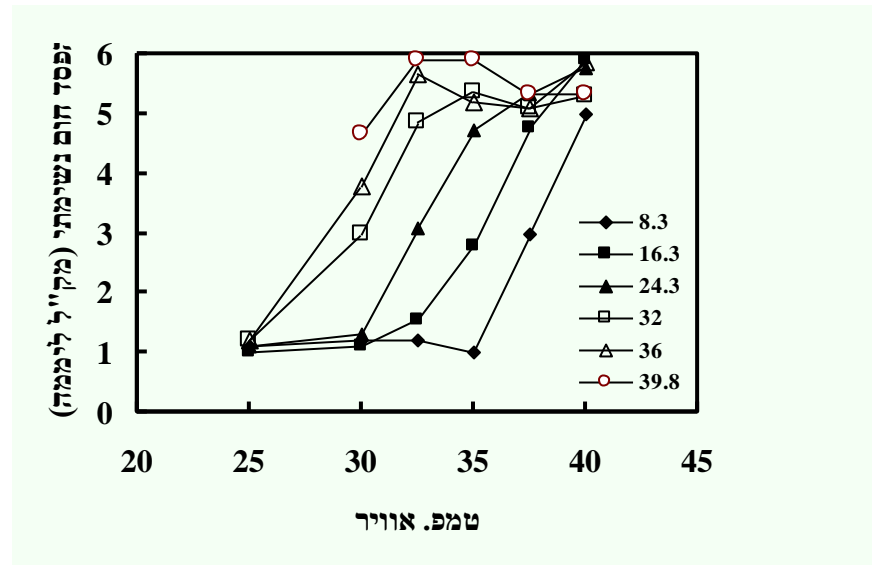
**יישום בארץ.** נראה לכן כי שיפור תנאי הסביבה על ידי אידוי מים מוגבל לאזורים בהם הלחות היחסית היא נמוכה, היינו האזורים הפנימיים של הארץ או של דרומה. מן הראוי להבליט כי האפקט של צינון האוויר גדול יותר כאשר מהירות הרוח היא קטנה, מסיבות הכרוכות בחוקי זרימת החום. הדבר בולט במיוחד בפרה העומדת, אשר שטח הגוף החשוף לסביבה גדול יותר מאשר בפרה הרובצת, ולכן היא תפיק תועלת רבה יותר מהקטנת טמפרטורת הסביבה. מצבה של הפרה הרובצת עצוב יותר, אף כי גם אז נשמרים הכללים החלים לגבי הפרה העומדת. זאת כיון שההשפעה של הקטנת טמפרטורת האוויר תלויה בשטח הגוף הפנוי אל הסביבה, הקטן בזמן רביצת הפרה. בחישובים אלו הנחנו כי שטח הגוף הפנוי של פרה רובצת הוא 75% מזה של פרה עומדת, אף כי במצבים רבים השטח החשוף עשוי להיות קטן מזה. בפרות באזור ההאבסה ניתן לטפל באופן יעיל ביותר על ידי הרטבה ואוורור. גישה זאת לא ניתנת להעתיקה באזור הרביצה. אנו רואים מכאן כי צינון האוויר על ידי אידוי מים עשוי להיות אמצעי להקלת עומס החום של פרות רובצות רק באזורים היבשים יותר של הארץ. התועלת הצפויה היא לא גדולה במיוחד. יש מקום לשקול כדאיות השימוש בתנאי שאין סיכון של יובש המרבץ. יישומו של פתרון זה בסככות הוא יקר מסיבות כמו הצורך בלחץ גבוה, והתחזוקה של המתזים הנסתמים. קיימת האפשרות של שימוש במתז הפועל בלחץ הרגיל של צנרת מים, 4-2 אטמוספירות. מתז זה מייצר תרסיס שבו הטיפות הן גדולות בהרבה ולא אחידות בגודלן. התוצאה היא כי חלק ניכר מן הטיפות נופלות למטה. שימוש זה טוב להרטבת הפרווה, אך הרבה פחות רצוי לסככה כי המרבץ נרטב ככל שמשמשים יותר. יישום זה עשוי להיות חיובי בהשפעתו, אם הוא מופעל רק מעל הפרות הרובצות- כלומר בעיקר מעל תאי הרביצה, תוך שילוב של הפעלת מאווררים מעת לעת. היישום הזה לא נבדק עד עתה, והערכתו עשויה להיות בעייתית עקב השוני הרב בגודל הטיפות והתפלגותן, התלויים בתכונות המתזים ולחץ המים. תכונות אלו של טיפות המים הן אלו הקובעות את היחס בין ההתאדות באוויר לבין ההתאדות מן הפרווה והרטבה של מרבץ. לפיכך באה בחשבון אפשרות לצינון פרות בתאי רביצה, אך חייבת להבדק בקפידה רבה, כדי להימנע מהכללה המושתתת על ממצאים הנכונים רק בצירוף מסוים של תנאים. במיוחד יש להזהר מהרטבה של המרבץ. הרטבה כזו מתגלה רק לאחר שהתקדמה, ויבוש המרבץ הוא איטי. נדרשת לכן בדיקה של כמות המים בחומר המרבץ.

## מדדים להפעלת אמצעי הצינון

רצוי היה לפתח משוואה הכוללת את תנאי האקלים ואשר בעזרתה ניתן להפעיל את מערכות הצינון באמצעות בקר. לחלופין רצוי קריטריון קל לאיבחון במשק לפיו תופעלנה מערכות הצינון. בעבר התרכזנו, ולא רק אנחנו אלא כמעט כל העוסקים בכך, בטמפרטורת הגוף כמדד עקרי ואף כמעט יחיד של עומס חום סביבתי. זה נכון גם כיום, כי טמפרטורת הגוף אינה משתנה מרגע לרגע והיא משקפת את מאזן החום של החיה. זה הוא המדד הנכון והיעיל ביותר להערכה אמינה של מאזן החום. אבל מדידה של טמפרטורת הגוף אינה אמצעי נוח לשימוש כקריטריון לפיו יש להביא פרות לצינון בחצר המתנה או להפעלת אמצעי הצינון בסככה. לצורך זה מתאים יותר מדד המקדים את העלייה בטמפרטורת הגוף, מדד שניתן לאמוד אותו בקלות, כך שהוא ישקף את הממוצע של קבוצת פרות. לצורך זה נראה כי קצב הנשימה יכול לשמש כמדד, אם יכולים לקבוע את קצבי הנשימה המצביעים על מצב בו הפרה זקוקה לצינון.

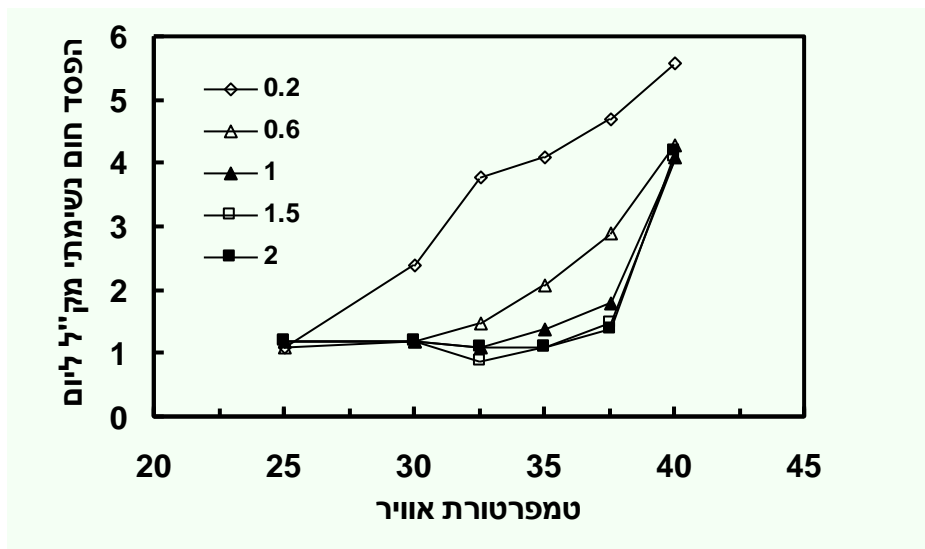
לשם פיתוח מדדים להפעלת מערכות הצינון חושבו היחסים בין הפגת החום מדרכי הנשימה לבין טמפרטורת האוויר, לחות האוויר ומהירות הרוח. אלו חושבו תחילה עבור פרה עומדת, כשכל שטח גופה חשוף לאוויר החופשי. אבל הרוח באה מכיוון מסוים, ולכן היא משפיעה לרוב על חלק משטח הגוף. כמו כן הפרה מבלה חלק ניכר מזמנה כשהיא רובצת, במרחק מפרות אחרות או בסמוך אליהן. בתנאים אלו מצטמצם שטח הגוף החופשי אל אוויר הסביבה. תרומתם של גורמים אלו חושבה גם כן.

**השפעת טמפרטורה ולחות אוויר.** בשלב ראשון נציג את הקורה לפרה המניבה 35 ק"ג חלב והמצויה ברוח שמהירותה 0.2 מ/שנייה. באיור 4 מוצג החום הצריך להיות מופג מדרכי הנשימה בטמפרטורה ולחות אוויר שונות.



איור 4. הפגת חום מדרכי הנשימה של פרה המניבה 35 ק"ג חלב, עם פרווה בעובי 3 מ"מ, בלחץ אדי מים באוויר של 8.3 עד 40 מ"מ כספית, וברוח של 0.2 מ/שנייה.

באיור 4 נראה כי ישנה הפגת חום מינימלית מדרכי הנשימה, זו מתגברת עם עליית מעמס החום עד שהיא מגיעה לערך השיא. פרה עומדת המניבה 35 ק"ג חלב והמצויה ברוח של 0.2 מ/שנייה צריכה להפעיל את הנשימה המוגברת כבר החל מטמפרטורות שמעל 25° אם לחות האוויר היא גבוהה (לחות יחסית 95% בטמפרטורה זאת, מצב הקורה בבוקר של קיץ). אם לחות האוויר היא נמוכה (לחות יחסית 15%), תזדקק הפרה להגביר את קצב האידיוי מדרכי הנשימה רק בטמפרטורות אוויר של 35° ומעלה. מהירות נמוכה של תנועת האוויר – בסביבות 0.2 מ/שנייה - מצויה בכל אותן שעות היממה בהן לא נושבת רוח יציבה. **השפעת מהירות הרוח.** עבור אותה פרה חישבנו את ההשפעה של מהירות הרוח כאשר לחות האוויר היא בינונית. התוצאות מובאות באיור 5.



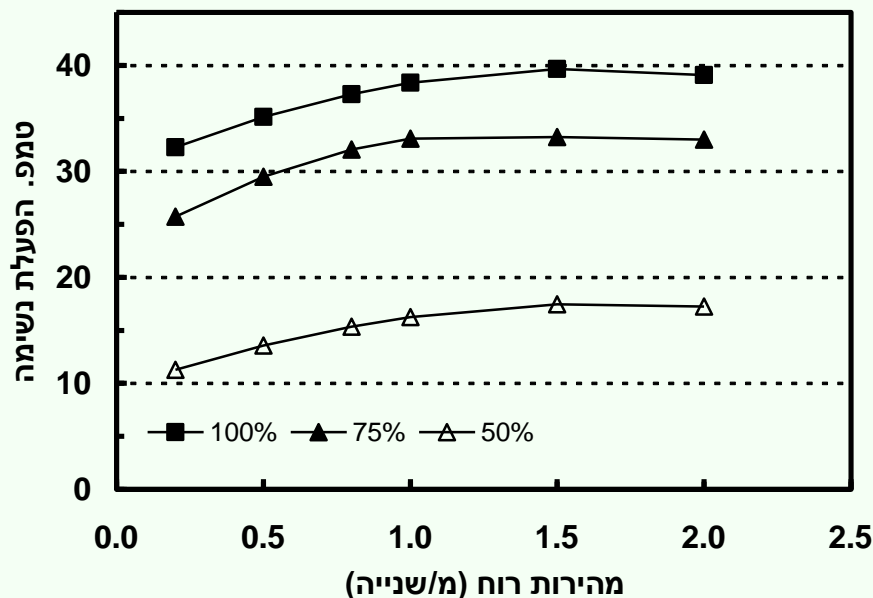
איור 5. הפסד חום נשימתי מחושב לפרה המניבה 35 ק"ג חלב ליום, עם פרווה בעובי 3 מ"מ, בלחות בינונית (2 kPa) ובמהירויות רוח של 0.2 עד 2 מ/שנייה.

לפי הנתונים המובאים באיור 5, הנשימה מופעלת להפגת חום כבר בטמפרטורות שמעל 25° כאשר מהירות הרוח היא 0.2 מ/שנייה והלחות בינונית. אם מהירות הרוח היא מעל 0.6 מ/שנייה, תדחה הפעלת

הנשימה לטמפרטורות מעל  $30^{\circ}$ , ולטמפרטורות שמעל  $32-32^{\circ}$  אם הרוח מהירותה 1 מ'שנייה. אם כן גם לחות האוויר וגם מהירות הרוח משפיעות על תגובת הפרה. אבל מה היא מהירות הרוח הדרושה כדי למנוע התפתחות של עקת חום כאשר הרוח והלחות משתנים, כפי שזה קורה במהלך כל יממה? התפקוד הנשימתי נבחר בתור מדד לעקת חום מכמה סיבות. פרה מתנשמת לא אוכלת. הפרה עוברת לעמידה, מפסיקה להעלות גירה, ובשלבם המתקדמים יותר אנו מבחינים בנשימה המאומצת, כאשר הפרה עומדת עם ראש מושט קדימה, פיה פתוח, מזיל ריר וגופה פועל כמו מפוח. כאשר פרה מתחילה להתנשם היא מפסיקה להעלות גירה וזה גורם להקטנת כמות המזון הנאכלת. תיפקדי העיכול נפגעים וצריכת המזון תפחת. בפרה מתנשמת, מסיבות שונות, משתבש גם שיווי המשקל בין הנתרן לאשלגן בגוף ותיווצר הכבדה על הכליות. כיון שהפרה המתנשמת עומדת, עולה תצרוכת האנרגיה לקיום בערך ב- 15%. לכן, ההתנשמות אמנם יכולה לצמצם את העלייה בטמפרטורת הגוף, אבל היא אמצעי חילוץ שיש עמו נזקים ליצרנות וליעילותה. יתרונו של קצב הנשימה כמדד על פני טמפרטורת גוף גבוהה הוא בכך כי הוא אינו מבטא מצב שבו מאזן החום התערער כבר, אלא מצב שבו הפרה מפעילה את אמצעי הצינון של עצמה. אבל לקצב נשימה מוגבר יש מגבלות כנ"ל. לכן מבוקש להבחין מצב ביניים של הפעלת הנשימה ולנבא באיזה תנאים סביבתיים הוא יופיע. יכולת לנבא את תנאי הסביבה הללו יכולה לייעל בהרבה את הפעלת האופציות השונות של הצינון.

**השפעה משולבת של טמפרטורה, לחות ורוח.** הקושי במימוש גישה זאת הוא כי לא היו בידינו עד היום די נתונים כדי לקבוע את היחס בין קצב הנשימה לבין עומס חום סביבתי (מצרפים של טמפרטורה, לחות ורוח) כדי לקבוע את היחסים ביניהם. בעזרת מודל הסימולציה שהוזכר לעיל חישבנו את הפסדי החום מן העור ומדרכי הנשימה בתנאים שונים של טמפרטורה, לחות ורוח עבור פרות המניבות 35 ו-45 ק"ג חלב ליום. מנתונים אלו יכולנו לחשב אומדנים של קצבי הנשימה במצבים שונים ולראות את קצבי הנשימה המצביעים על ראשית עומס החום. הנחנו כי ראשית עומס החום מופיע כאשר הפרה הפעילה את מלוא ההזעה מן העור ואת הפסד החום הנשימתי ב-50% מערך ההפעלה המירבית, כלומר קצבי נשימה של בערך 70 עד 80 נשימות לדקה. מן הנתונים חושבו משוואות המאפשרות לנבא את צרופי הטמפרטורה, הלחות והרוח בהם הפרה תגיע להפעלת הנשימה ב-50% מן הערך המירבי.

חישבנו זאת עבור פרה המניבה 35 ק"ג חלב בהתאם לטמפרטורת האוויר ולשטח הגוף הפנוי אל האוויר החופשי כמוצג באיור 6.



איור 6. טמפרטורות האוויר בהן יגיעו קצבי הנשימה ל-70-80 נשימות לדקה (כ-50% מן הערך המירבי) בפרה עם פרוה בעובי 3 מ"מ המניבה 35 ק"ג חלב, בלחות ממוצעת (לחץ אדי מים של 24 מ"מ כספית) במהירויות רוח שונות כאשר 50% עד 100% של שטח הגוף חשופים אל האוויר החופשי.

לחץ האדים לגביו חושבו טמפרטורות האוויר בהם יופעלו קצבי הנשימה לכדי 70-80 נשימות לדקה מייצג לחות יחסית של 75% ב-25°, 55% ב-30°, ו-45% ב-35°. המשואה לפיה חושבו נתונים אלו עבור פרה עומדת שגופה מקביל לכיוון הרוח היא :

$$T_{eff} = 38.7 + 7.9 * V - 3.8 * V^2 - 33 * P_w + 17.3 * V * P_w$$

טמפרטורת אוויר בה מגיעה הפגת חום נשימתית ל-50% של המקסימום

$V$  = מהירות רוח (מ/שנייה)

$P_w$  = לחץ אדי מים באוויר (גר/סמ<sup>2</sup>)

משוואה זאת מחשבת את טמפרטורת האוויר בה יגיע קצב הנשימה ל-70-80 נשימות לדקה, בתנאים משתנים של רוח ושל לחות אוויר. בפרות המניבות 45 ק"ג חלב ליום הטמפרטורה בה תגיע הפרה לקצבי נשימה של 70-80 נשימות/דקה תרד ב-5°. משוואות אחרות שמשו לחישוב טמפרטורות אלו עבור פרות שבהן 50% או 75% מן הגוף חשופים לאוויר הסביבה. הנחתי כי כאשר פרה רובצת במבודד, בערך 75% משטח הגוף חשוף לאוויר הסביבה, ואילו אם היא שוכבת בסמיכות לפרות אחרות רק 50% משטח הגוף יהיה חשוף לאוויר הסביבה. ערכים אלו יכולים לשמש גם כמדדים למצבים בהם פרות עומדות בצפיפות, מצב המצוי כאשר הן קשורות לאורך האבוס.

מאיר זה נראה שוב כי ההשפעה של מהירות הרוח מגיעה לשיאה במהירות רוח של 1.0 – 1.5 מ"/שנייה. אבל ההשפעה הגדולה ביותר היא של הרביצה בצפיפות, בה קטן שטח הגוף החשוף המשוער ל-50%. המעבר מ-75% ל-100% שטח חשוף לאוויר הסביבה והרוח דומה בהשפעתו לשינוי מהירות הרוח מקרוב לאפס ועד ל-2 מ"/שנייה.

**השפעת רביצה וצפיפות.** מהירות רוח הנמדדת באוויר החופשי בסככה בגובה הפרה פועלת על רוב שטח הגוף של הפרה רק כאשר זו עומדת עם הפנים אל תוך הרוח בריחוק מפרות אחרות. אומדן מהירות הרוח על פני גוף הפרה בעיתי פי כמה כאשר הפרות עומדות עם ראשן בעולים לאורך האבוס. הפרות שם עומדות לרוב במקביל זו אל זו, ובניצב לכיוון רוח המאווררים. האוויר הזורם פוגע במלוא מהירותו בצד הפרה הראשונה, צידה השני מקבל רק מהירות פחותה בהרבה (0.2 עד 0.6 מ"/שנייה) ואילו בפרה השנייה ואילך הצד הפונה כלפי הרוח נחשף לרוח במהירויות קטנות בהרבה. מצער למדי, אבל אין כמעט קשר בין צפיפות המאווררים לבין מהירות הרוח על פני הפרה השנייה והשלישית מן המאוורר. פתרון לבעיה זאת יכול להימצא במאווררים המוצבים מעל לפרות ודוחפים אוויר מלמעלה כלפי מטה, כדוגמת מאווררי התיקרה או אולי במאווררים סובבים מעל לפרות ודוחפים את האוויר כלפי מטה, ולא לאורך הפרות, כפי שנהוג כיום. בסככות שהגג שלהן נמוך, דחיפת האוויר כלפי מטה תעביר על הפרות אוויר שהתחמם עקב קרבתו אל הגג. בכל מקרה, מהירות הרוח הרלבנטית לפרות יכולה להימדד במרווחים שבין הפרות ולא במכשיר הממוקם מעל לפרות.

גודל שטח הגוף החשוף אל הרוח הוא גורם חשוב ביותר ולכן נפרט קצת לגבי אופן ההתייחסות אליו. מצב של 100% שטח גוף חשוף לרוח מתקיים רק כאשר הפרה עומדת ובמרחק מספיק מפרה שכנה, באופן שהיא לא תפריע לזרימת האוויר המגיע אליה. אבל אפשר להניח במידה סבירה של בטחון שכאשר פרה רובצת ומרחק מסוים מצוי בינה לבין חברותיה לגורל, שטח הגוף הפנוי לרוח הוא בין 66% לבין 75% מכלל שטח הגוף שלה. ואילו כאשר היא וחברותיה רובצות בצפיפות, ירד שטח הגוף הפנוי לרוח לכדי 50% מן השטח שלה. זה אחד הגורמים המרכזיים ליתרון הרב שיש לשטח גדול לפרה בסככה (אם הן לא מתגודדות). **חישובים אלו וכן הסתכלויות על התנהגות הפרות מראות בעליל כי הפרה הרובצת מוגבלת בהפגת החום העצמית יותר מפרה עומדת, ולכן זקוקה יותר מן הפרה העומדת לאוורור נאות.**

הפרה מצויה עם ראשה באבוס לכל היותר במשך 4-5 שעות ביממה. אבל פרה רובצת למשך 16 – 18 שעות ביממה, בייחוד אחרי הארוחות ובעיקר נכון הדבר לגבי שעות האפלה. הקלת התנאים ליד האבוס תעודד צריכת מזון, אבל תועלתו של צינון זה תפחת אם עקב עומס חום בסככה הפרה ממעטת להעלות גירה ובכך לפנות את מערכת העיכול הקדמית למזון נוסף. לפיכך אין זה נכון לרכז את כל המאווררים לאורך האבוס, בכך מכבידים על הפרה בשעות האחרות שהן רוב היממה.



לפיכך, אפשר לנקוט בעמדה תכליתית ועונה על הצרכים על ידי כך שמפעילים את מערכות הצינור כאשר קצב הנשימה של מחצית הפרות מגיע לערכים של 60-70 נשימות לדקה. גישה זאת מפצה על השוני בין פרות ועדרים בהזעה, פרווה, בריאות והרכב תפריט העשויים להשפיע על התנאים החיצוניים בהם יש להפעיל מערכות אלו.

לאחרונה נתברר לנו כי קיים מדד נוסף לנוחות הפרה, והוא שיעור הרביצה. הנתונים עדיין לא מעובדים כהלכה לדווח. באפן כללי מסתמן כי במצבים של עקת חום, בזמנים שלאחר האכילה רק כ-15% מן הפרות רובצות. לעומת זאת, בתנאים נוחים שיעור הרביצה הוא בסדר גודל של כ-50%. במקביל, קצבי הנשימה פחתו במידה ניכרת, מרמות של 70-90 נשימות לדקה לרמות של 50-70 נשימות לדקה. שינויים אלו קרובים מאוד לאלו החזויים על ידי המשוואות שפתחנו ממודל הסימולציה.

### שגרת ההפעלה של אמצעי הצינור

ככלל, אין טעם בהפעלת אוורור או אוורור והרטבה לאורך האבוס כאשר הפרות אינן מצויות באזור זה. כמו כן, אין צורך להפעיל את אלו לאורך כל פס ההאבסה כאשר הוא תפוס על ידי הפרות רק בחלקו. הדבר נכון גם עבור הפעלת האוורור באזור הרביצה. קירוב המזון מעורר את הפרות להגיע אל האבוס ולאכול. לאחר אכילה במשך 15-30 דקות הפרות פונות לרבוץ בסככה. קירוב מזון בזמנים קבועים מאפשר הפעלה ממוחשבת של מערכות האוורור והצינור לאורך האבוס ובאזורי הרביצה. לרוב יש קבוצה של פרות הנשארות לאורך האבוס בימים החמים יותר בזמן הפעלת מערכת הצינור, גם בזמנים שבין הארוחות. פיצול בפיקוד לקבוצות של מאווררים ומתזים יכול לאפשר הפעלת מערכת הצינור על פני חלקים של פס ההאבסה, בהתאם לתנאי הסביבה. הדבר נכון גם עבור אזורי רביצה מועדפים בסככה.

### סיכום

רשימה זו מושתתת על מודל סימולציה של חילוף החום בין הגוף לבין סביבתו, מודל שהנבנה על יסוד מספר גדול מאד של ניסויים בבקר. החישובים מראים כי מבחינת הפסד החום ההסעתי והן זה שעל ידי אידיוי מים, ההפסד המירבי מושג ברוח שמהירותה 1 עד 1.5 מ/שנייה. אי לזאת נראה כי אפשר להקטין את ההשקעה במאווררים ובעלויות הפעלתם לעומת המקובל היום. הנוהג המקובל כיום מבוסס על העדר נתונים על הערך הרצוי והרצון להימנע מאוורור חלש מדי. החישובים וכן תצפיות מראים כי לאוורור וצינור יש חשיבות רבה להשגת שיעורי רביצה תקינים. הללו דרושים להשגת העלאה של גירה בשיעור שיאפשר צריכת מזון מלאה. מכאן שיש להקדיש תשומת לב מתאימה להקלת החום באזורי הרביצה. החישובים מראים כי עבור פרה רצויה הפעלת המאווררים בסככה החל מטמפרטורה של  $22^{\circ}$ - $23^{\circ}$  ולאורך האבוס המוצל החל מטמפרטורות של  $24^{\circ}$ - $25^{\circ}$ . אם הפרה המניבה 35 ק"ג חלב מצויה בעמידה ברוח שהמהירות הממוצעת על פני כל גופה היא 0.8 מ/שנייה (כלומר כאשר זרימת האוויר הבלתי מופרעת היא 1.5 מ/שנייה ומעלה) דרושה הפעלה של אוורור משולב הרטבה כאשר טמפרטורת האוויר מגיעה אל  $30^{\circ}$ - $32^{\circ}$  בלחות היחסית של 40%. עבור פרות המניבות כ-45 ק"ג חלב הערכים יזוזו למטה בכדי  $5^{\circ}$ , כלומר אל  $28^{\circ}$ .

ערכים מחושבים מראים את השפעת זרימת האוויר כאשר הפרה עומדת עם הפנים לתוך הרוח, כך שהרוח עוברת על פני שני צידי הגוף. אבל אם הפרה עומדת כשהרוח "מכה" על צד הגוף במהירות של 1.5 מ/שנייה, נצא כי על פני צידו השני של הגוף תהיה תנועת אוויר של 0.2 – 0.4 מ/שנייה, כך שמהירות הרוח הממוצעת על הגוף כולו תהיה בפועל קטנה יותר, בממוצע כ-0.85 מ/שנייה. הערכים נמוכים יותר אם הפרות עומדות בסמיכות זו לזו. מהירות הרוח הממוצעת על הגוף כולו עשויה להגיע לערכים של 0.5-0.6 מ/שנייה. זה משקף את המצוי לאורך פס ההאבסה.

החישוב הנ"ל מתאר נתוני פרה עומדת. אבל, בימים כתיקונם, היינו כאשר לא חם מדי, הפרה מרבה לרבוץ, והיא עושה זאת במשך 14 – 16 שעות ביממה. ומה אז? במקרה זה מצטמצם שטח הגוף החשוף אל האוויר החופשי והרוח, והוא מגיע ל-50%-75% מן השטח המלא, בהתאם לצפיפות הפרות בזמן הרביצה. זה מצמצם את השטח החיצון של הפרה, אבל לא משנה את יצור החום שלה. כל החום הנוצר בגופה צריך להתפנות משטח גוף יותר קטן, ולכן עודפי חום נוצרים בגוף כבר בטמפרטורות סביבה נמוכות יותר. התוצאה היא כי הפניית חום להוצאתו מן הגוף בדרכי הנשימה מתרחשת בטמפרטורות סביבה נמוכות

יותר. לפי תוצאות החישובים, בפרה רובצת תחל הפעלת הנשימה בטמפרטורות של כ -  $20^{\circ}$ . אם נרצה שימוש יעיל במאווררים באזור הרביצה, משמעות הדבר כי יש להפעילם החל מטמפרטורה של  $22^{\circ}$ . ברשימה זאת נעשה ניסיון לבחון את האופציות העומדות לרשות המגדל להקלת עומס החום על הפרה, למעט את הכלול בתחום ההזנה ותכנון מבני הבקר. ככלל, רשימה זאת מראה כי ישנה אפשרות לחשב ולחזות מצבים, תגובות, ופעולות. אך במקביל קיים תחום אפור שבו קשה להגיע להערכת מצבי חילוף החום של הפרה. מציאות זאת מציבה גבולות לאפשרות להציע משוואות שבעזרתן ניתן לנהל באופן ממחושב את הקלת עומס החום של הפרה. לכן, גם אם מיושמות משוואות אלו או אחרות, עדיין דרושה מעורבות המגדל כדי שפעולות הממשק תיעשינה במקום, במידה ובעיתוי הנכונים. מצב זה מחייב כי בידי המגדל יהיו כלים כדי להגיע להחלטות הנכונות.

הכתוב למעלה מושתת על מיטב הידע והנסיון המצוי כיום בידינו. עם זאת, יתכן כי בצרופי תנאים סביבתיים מיוחדים תתקבלנה תגובות שלא בהתאם למצופה לפי הכתוב. במקרים אלו יש לבחון היטב הסיבות האפשריות לחריגה מן המצופה והתגובה הממשקית המתאימה. בכל מקרה התגובה של הפרה היא המדד לנכונות אמצעי הממשק.

מוצע בזה להשתמש בקצב הנשימה כמדד שיעיד על התפתחות עקת חום בגוף הפרה. טמפרטורת הגוף כמדד לחיזוי היא אומנם נכונה אך שינוי בטמפ' הגוף כביטוי לעקת החום מאחר להופיע יחסית לקצב הנשימה, והוא מבטא כבר את התבססות ההשפעה של החום, בהפרש של 2 - 3 שעות. לפיכך יש לראות בשאיפה לקיום קצבי נשימה בתחום של עד 70 נשימות לדקה ושל שיעורי רביצה גבוהים מטרות ממשק שעל פיהן יש לנהוג בהפעלת אמצעי הצינון.

**הבעת תודה** ברצוני להביע את תודתי לעזרא שושני על הערותיו אשר תרמו רבות לשיפור רשימה זאת.