

תכנון רפת רובוטית לתנאי הארץ

אילן הלחמי¹, עזרא שושני²

¹ מינהל המחקר החקלאי – מרכז וולקני, ² האגף למיכון וטכנולוגיה – ש"מ, משרד החקלאות

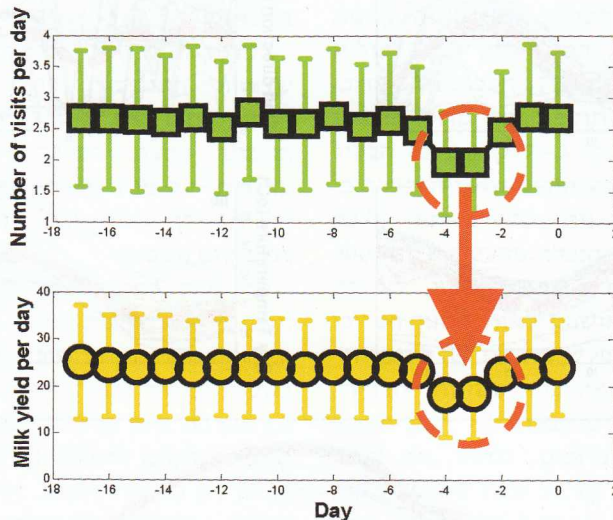
של 3.3 חליבות לפרה ליום גם בימים חמים כמעט ללא צורך בהבאת פרות.

רקע

תכנון רפת צריך לקחת בחשבון גורמי ממשק, ניהול, התנהגות פרות, התרחבות עתידית, אקלים ורות, איכות סביבה, ועוד (Bickert et al., 1997; Graves 1998; Austin et al., 1998). בהינתן התנאים ושיטות הניהול של המשק בו תקום הרפת, יש לסכמם למערכת אחת ולגזור מהם את המבנה הפיזי האופטימלי (Halachmi et al., 1998-2002; Dzidic et al., 2001). כאשר יש כוונה להשתמש בטכנולוגיה של חליבה רובוטית, הדבר מחייב תכנון מיוחד, תכנון התומך ברעיון של הגעת פרה מרצונה

תקציר

תכנון רפת צריך לקחת בחשבון גורמים רבים. בהינתן התנאים המקומיים ושיטות הניהול של המשק בו תקום הרפת צריך לגזור מהם את המבנה הפיזי האופטימלי. חליבה רובוטית מחייבת תכנון מיוחד, תכנון התומך ברעיון של הגעת פרה מרצונה החופשי לרובוט וניצול מרבי של הרובוט. בעולם הצטבר נסיון מועט יחסית בתכנון רפתות רובוטיות וגם הוא מתאים בעיקר לתנאי מערב ארופה. רפתות רובוטיות באקלים וממשק דומה לשלנו כמעט ולא קיימות בעולם. לכן, במאמר זה מתואר תכנון ייחודי של רפת רובוטית בסככה פתוחה, ללא תאי-רביצה, בממשק ישראלי אופייני. הרפת הגיעה למוצק של 84% נצילות רובוט, ממוצע



ציור 1. השפעת ירידה זמנית במספר חליבות (גראף עליון) על תגובת החלב (גראף תחתון). דוגמה מרפת אחרת.

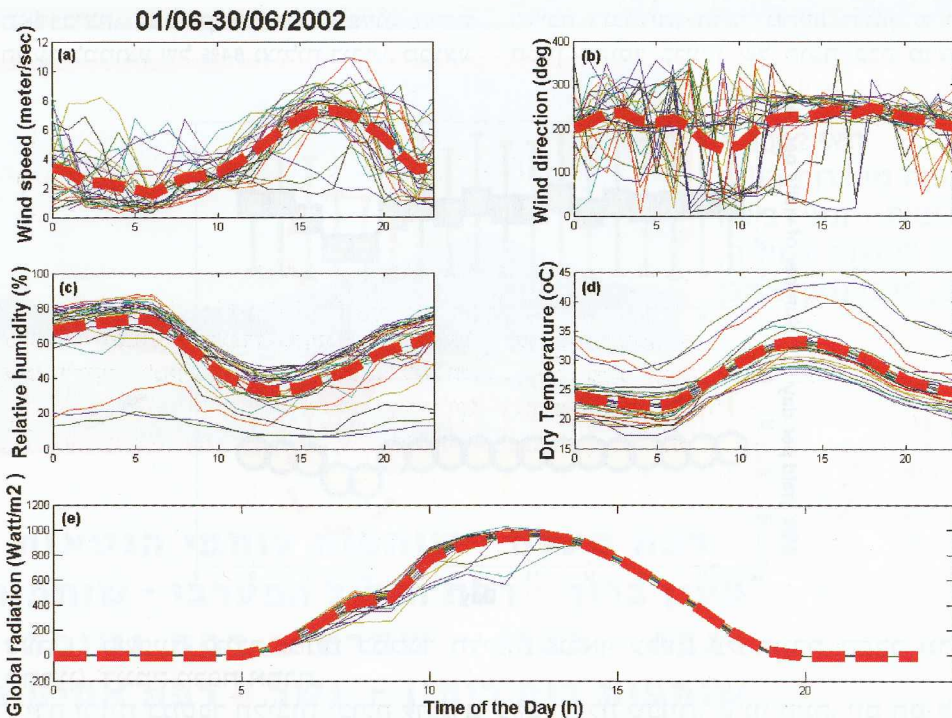
ירידה זמנית במספר חליבות יכולה להיגרם עקב תקלה טכנית, שינוי הזנה, יום חם ללא מענה תיכנוני הולם, או הפרעה אחרת לשגרת הרפת. ירידה מגמתית לאורך זמן היא תוצאת כשל תכנוני או ניהולי.

בממשק ישראלי אופייני הוצג בשנה שעברה (הלחמי ושושני 2002). המאמר הנוכחי מציג את תוצאת התכנון, נתונים ומסקנות מהרפת העובדת לפי התכנון שהוצג בשנה שעברה.

חומרים ושיטות

התכנון כוון לתנאי הארץ, רפת בבקעת יבניאל, סככה פתוחה "כוללת" המקובלת באקלים חם (לא תאירביצה) לשיכון 60-80 פרות המניבות בממוצע כ-35 ליטר ביום כאשר גבוהות תנובה מגיעות ל-50-60 ליטר ביום. נתוני אקלים מבקעת יבניאל שימשו כקלט לתכנון (ראה ציור 2 המציג נתוני אקלים מחודש יוני). בימי קיץ הטמפרטורה יכולה לעבור 45°C, בצהריים שטף הקרינה מעל 1000 Watt/m², אחוז לחות יחסית ביום כ-40%, מהירות הרוח כ-8m/s, כיוון הרוח משתנה אבל

החופשי לרובוט. למבנה וניהול המעודדים הגעת פרה לרובוט (מרצונה החופשי וללא "דחיפה") בתדירות חליבה הנקבעת על ידי הרפתן ערך כלכלי רב. בציור 1, השפעת ירידה זמנית במספר החליבות על תנובת החלב, אפשר לראות שההשפעה היא מיידית: 1/2 חליבה שקולה כנגד כ-6 ליטר לפרה ליום. אולם, בעולם הצטבר נסיון מועט יחסית בתכנון רפתות רובוטיות וגם הוא מתאים בעיקר לתנאי מערב אירופה - ירק טרי מוגש או במרעה, תחמיץ מאיכות שונה, טמפרטורות נמוכות, מבנה סגור, תאירביצה, השבחת העדר לכיוון מוצקים בחלב ותקני איכות חלב מחמירים (Friggens and Rasmussen 2002). רפתות רובוטיות באקלים וממשק דומה לשלנו כמעט ולא קיימות בעולם. תכנון ייחודי של רפת רובוטית בסככה פתוחה, ללא תאירביצה,



ציור 2. תנאי אקלים. כל קו מייצג יום אחד, קו עבה מקוטע (---) ממוצע של הימים. (a) מהירות הרוח, (b) כיוון הרוח, (c) לחות יחסית, (d) טמפרטורה, (e) קרינת השמש. ציר X - זמן לאורך היממה (שעות).



ציור 3. בעיית התגודדות – כל הפרות התרכזו בקצה הסככה הרחוק מהרובוט.

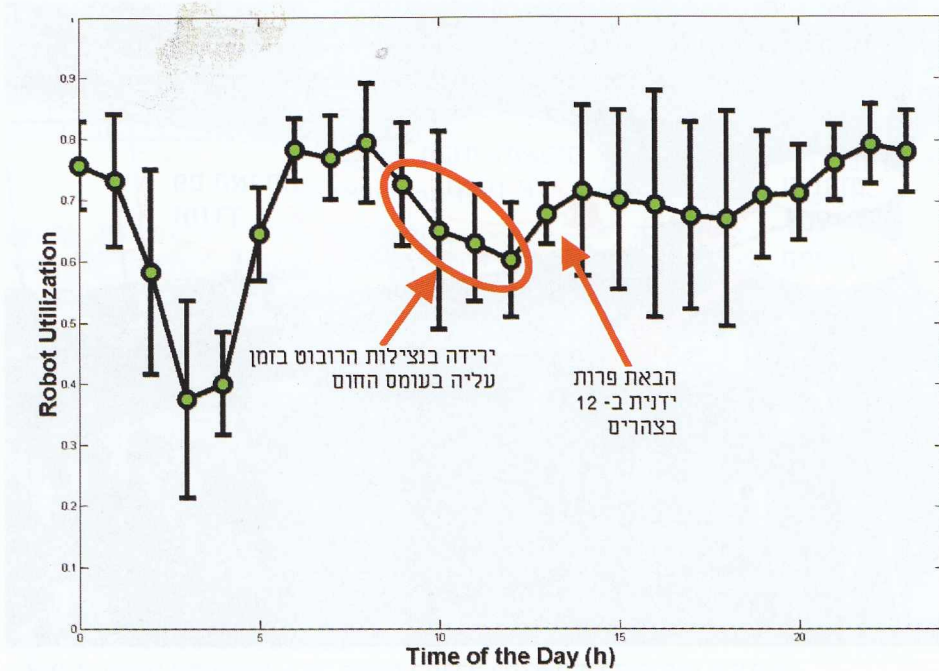
תוצאות

למרות שתצפיות מוקדמות, באתר הראו שצפויה התגודדות פרות בקצה הסככה המרוחק מהרובוט (ציור 3). הוחלט למקם את הרובוט בקצה הסככה לכיוון התרחבות עתידית, על מנת שאותו מרכז חליבה (מיכל, משרד, דרך גישה וכו') יתאים בעתיד גם לרובוטים נוספים.

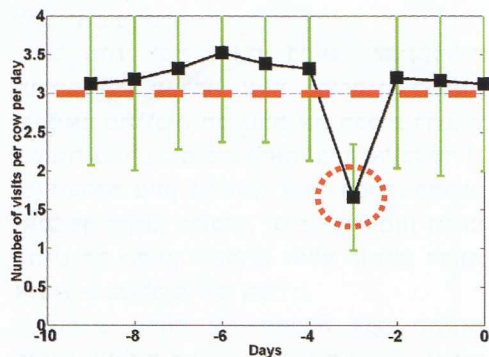
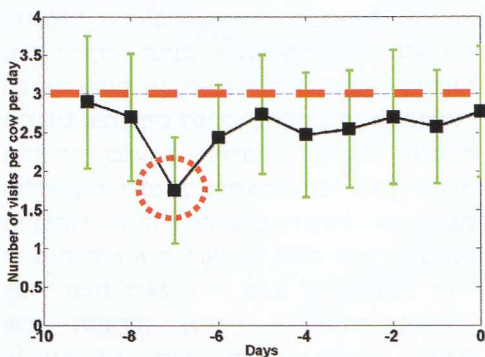
על מנת לפתור את בעיית ההתגודדות תוכננו: (א) מערכת צינון נקודתית בכניסה וביציאה מהרובוט המושכת את הפרות לרובוט בשעות נצילות נמוכה, (ראה, צינון א' בציור 3, (ב) מערכת צינון כללית, לפיזור הפרות בסככה ואגב כך לקרבן לרובוט, (ג) מאביס מזון מרוכז הנגיש רק מכיוון הרובוט. אולם הוחלט לבנות את א-ג בשלבים, לפי הצורך.

ציור 3 מראה את הסככה לפני התקנת הצינון, צולמה ביום קיץ בשעה 12:00, אפשר לראות התגודדות – כל הפרות בקצה הסככה הרחוק מהרובוט. מעקב אחרי נצילות הרובוט בשעה זאת במשך כל הימים החמים מיקדה את

לרוב אינו בניצב לסככה ולכן היתה קיימת תופעת התגודדות. המזון ניתן במנה כולית בהרכב המקובל בארץ, 17% חלבון, 60% מרוכז ו-40% חומר יבש. תוספת מזון מרוכז ברובוט או באבוס הצמוד לו 3-7 ק"ג ביום. הבליל חולק ב-6:30 בבוקר, קירוב שאריות בערך ב-16:00. מזון מרוכז ניתן ברובוט בכל חליבה מוצלחת ובמאביס הנפרד בקצב של עד 300 גרם לדקה. למעט בתקופות ניסוי, לא היו חלונות הזנה אך חושבה כמות המזון המרוכז ברובוט ובמאביס לפי שיטת "צבירה ליניארית" כמקובל במערב אירופה. בשיטת הצבירה הליניארית הכמות מוקצבת לפי הזמן שחלף מהביקור האחרון ברובוט. למשל, אם המנה היומית היא 6 ק"ג אז כל שעה שחלפה מקנה לפרה זכות ל- $6/24 = 0.25$ ק"ג לשעה. קרי, פרה המגיעה אחרי 6 שעות מקבלת $1.5 = 6 \times 0.25$ ק"ג. הרפת תוכננה בעזרת תרחישי סימולציה ומודלים של חקר ביצועים (Halachmi et al., 1998-2002). פונקציית המטרה של הרפתן היא להשיא רווחים במינימום עבודה.



ציור 4. השפעת עומס החום על ביצועי הרובוט – פריסת נצילות הרובוט לאורך היממה. ציר X הוא ציר הזמן, שעות לאורך היממה, ציר Y הוא נצילות הרובוט כפי שנמדדה ב-18 יום לפני התקנת הצינון. העיגול הוא ממוצע לכל התקופה והקו האנכי הוא סטיית התקן. אחרי התקנת הצינון הפסיקו להביא את הפרות בצהריים, הן הגיעו לבד וכמעט יושרה עקומת הנצילות בשעות הצהריים.



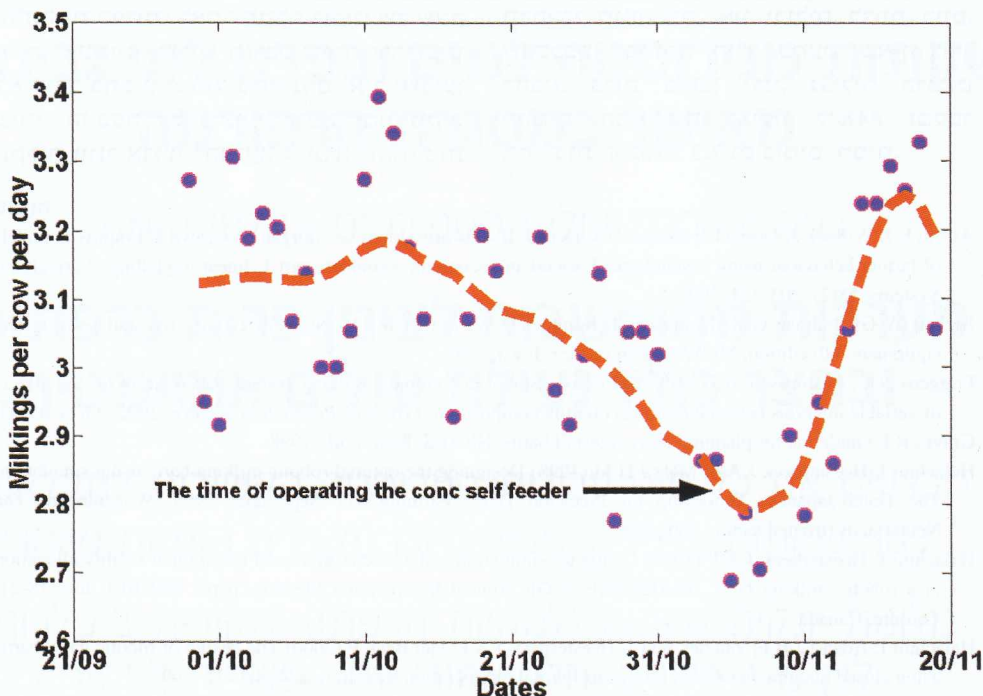
ציור 5. מספר ביקורים ממוצע לפרה לפני (שמאל) ואחרי (ימין) התקנת הצינון. קו אופקי מרוסק הוא קו 3 חליבות, עיגול מרוסק הוא יום של תקלה ברובוט, ציר X הוא ציר הזמן (ימים). הקו האנכי הוא סטיית התקן והעיגול הוא הממוצע היומי.

התקנת הצינון, סוף מאי עד אמצע יוני. בגרף מימין מספר החליבות כשבוע לאחר התקנת הצינון, מאמצע עד סוף יוני.

התקנת מאביס מזון מרוכז משולב במערך שיפרה את תנועת הפרות לכיוון הרובוט (ציור 6) וגם איפשרה תוספת אנרגיה לפרות מסויימות (הזנה אינדידואלית). כיום, הרפת מגיעה לנצילות רובוט יומית ממוצעת של 84% רממוצע של 3.3 חליבות גם בימים חמים.

הבעיה (ציור 4). אכן מיד בתום תקופת ההרגלה, בהתאם לביצועי הפרות וזיהוי צוואר הבקבוק בעזרת הגראף בציור 4 הופעלה "תוכנית המגירה": בשלב ראשון כחודשיים אחרי הבניה הוקמה מערכת הצינון ובשלב שני, לאחר שיוצבה המערכת ברמת העדר נרכש מאביס מזון מרוכז לשיפור הניהול האינדידואלי.

השפעת התקנת הצינון בציור 5, בגראף משמאל מספר חליבות ממוצע לפרה לפני



ציור 6. מספר ביקורים ברובוט ממוצע לפרה בעדר לפני ואחרי הפעלת מאביס (סוף אוקטובר).

באבוס המתאימה לצינון. לכן הפתרון הוא בעצם שילוב הצינון בכל אפשרות – ליד הרובוט, באבוס ובמרבץ המתווננים אוטומטית, לפי הימצאות בפועל של פרות.

תהליך שהביא לפתרון המוצע התאפשר רק בגלל שהרפת תוכננה מראש לרשימת תרחישים צפויים: מקום מתאים לצינון ברובוט, מקום מתאים למאביס ועוד אפשרויות שלא הופעלו.

דיון

בניגוד לרפת עם מכון חליבה, בה אפשר למקם את מערכת הצינון בחצר ההמתנה לפני המכון ובאבוס, ברפת רובוטית המתוכננת היטב מעט פרות תמתנה לפני הרובוט וזמן ההמתנה הוא קצר יחסית. בנוסף, הפרות מגיעות מהרובוט לאבוס אחת אחת בזמנים שונים לאורך היום והלילה, לכן גם אין התקהלות

הסדרות המיוצגות הן סדרות ממוצעות של המחקר.

סקירה

המחקר המוצג הוא חלק מהמחקר הכללי של המחקר, המיוצג על ידי המחקר. המחקר המוצג הוא חלק מהמחקר הכללי של המחקר, המיוצג על ידי המחקר. המחקר המוצג הוא חלק מהמחקר הכללי של המחקר, המיוצג על ידי המחקר.

מסקנות

Austin E J; Willcock J; Deary I J; Gibson G J; Dent J; Edwards-Jones G; Morgan O; Griève R Empirical models of farmer behaviour using psychological, social and economic variables, part 1: linear modelling. *Agricultural Systems*, 58(2): 203-224, 1998

Bickert W G; Bodman G R; Holmes B J; Kammel D W; Zuluovich J M; Stowell R Dairy freestall housing and equipment, 6th edition, Midwest plan service, Iowa, 1997

Friggens N C; Rasmussen M D Milk quality assessment in automatic milking systems: accounting for the effects of variable intervals between milkings on milk composition. *Livestock Production Science*, 2002, 73(1): 45-54

Graves R E Guideline for planning dairy freestall barns, NRAES, New York, 1998

Halachmi I; Heesterbeek J A P; Metz J H M (1998) Designing the optimal robotic milking barn, using simulation. The Dutch-Japanese Workshop on Precision Dairy Farming, 8-11 September 1998, Wageningen, The Netherlands. Invited lecture and paper

Halachmi I; Heesterbeek J A P (1999) Computer simulation and a stochastic model for optimal facility allocation in a robotic milking barn. *ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting*, paper #993019, July 18-21, Toronto, Canada

Halachmi I; Adan I J B F; van der Wal J; Heesterbeek J A P; van Beek P (2000) The design of robotic dairy barns using closed queuing networks. *European Journal of Operation Research*, 124 (3): 437 - 446

Halachmi I; Metz J H M; Maltz E; Dijkhuizen A A; Speelman L (2000) Designing the optimal robotic barn, Part 1: quantifying facility usage. *Journal of Agricultural Engineering Research* 76: 37-49

Halachmi I (2000) Designing the optimal robotic barn, Part 2: Behaviour-based simulation. *Journal of Agricultural Engineering Research* 77 (1): 67-79

Halachmi I; Dzidic A; Metz J H M; Speelman L; Dijkhuizen A A; Kleijnen J P C (2001) Validation of simulation model for robotic milking barn design: case study *European Journal of Operation Research*, 134 (3): 165 - 176

Dzidic A; Halachmi I; Luka-Havranek J (2001) Prediction of Milking Robot Utilization *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 66 (3): 137-143

Halachmi I; Heesterbeek J A P; Adan I J B F; van der Wal J; van Beek P (2003) Designing the optimal robotic barn, using queuing network model. *Agricultural Systems*, 76(2): 681-696

Halachmi I; Metz J H M; van't Land A; Halachmi S; Kleijnen J P C (2002) Optimal Facility Allocation in a Robotic Milking Barn. *The Transactions of the ASAE*, 45(5): 1539-1546.

Halachmi I; Metz J H M; van't Land A; Halachmi S; Kleijnen J P C (2002) Optimal Facility Allocation in a Robotic Milking Barn. *The Transactions of the ASAE*, 45(5): 1539-1546.

תקופת