

תכנון רפת רובוטית לתנאי הארץ

דוח מסכם 2001-2003 מוגש להנהלת ענף בקר

תוכנית מספר 463-0250-03 – הסתימה בשנת 2003

אילן הלחמי¹, עזרא שושני²

(1) המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני
(2) האגף למיכון וטכנולוגיה - שה"מ, משרד החקלאות

תוכן העניינים

1. דפי שער
2. תוכנית מקיפה
 - 2.1. תוכן עניינים
 - 2.2. מבוא ותאור הבעיה - ראה דוח 2002
 - 2.3. מטרות המחקר
 - 2.4. חשיבות ויחודו של המחקר
 - 2.5. תוצאות המחקר
 - 2.6. הפצת המידע לחקלאים
3. עותק מהתוכנית ההקדמית ודף השער שלה

2.3 מטרות המחקר

מטרת המחקר בשנה הראשונה היתה לתכנן רפתות שיתאימו לעבודה עם רובוט בתנאי ישראל. בגלל שרפת עם רובוט שונה מאוד מרפת עם מכון חליבה: התנהגות הפרות שונה, הממשק, הניהול, ההזנה והמבנה שונים ובנוסף הנסיון המועט שנצבר במערב ארופה כמעט ואינו ישים לתנאי הארץ – יצרנו תפיסת תכנון חדשה לגמרי המאפשרת רובוט בסככה פתוחה האופינית לאקלים חם. מטרת השנה השנייה הייתה לבנות את הרפתות שתוכננו בשנה הראשונה. מטרת השנה השלישית (2003) היתה ליישם האספקטים השונים של חליבה רובוטית במבנה החדש שתוכנן ונבנה. ובכלל זה (1) מספר חליבות ככלי ניהולי – כלכלי, (2) יזום תדירות חליבה, (3) חלונות הזנה, (3) ניהול אינדיוידואלי של תדירות חליבה (4) הקצאת מזון ברפת רובוטית.

2.4 חשיבות ויחודו של המחקר

מתגברת הנטייה בארץ לחיסכון בעבודת ידיים שכירה בעזרת אוטומציה מלאה של החליבה ומתגברת השאיפה לפרה שמייצרת יותר אבל מזהמת פחות. אפילו במחירים הנוכחיים (חברה אחת ללא תחרות רצינית), עלות ההקמה של רפת רובוטית בתנאים מסוימים דומה לזו של רפת רגילה חדשה. לכן, בעת הקמת רפת חדשה נשקלת כדאיות חליבה רובוטית במשקים מושביים רלוונטיים.

תכנון וניהול רפת רובוטית שונים מאוד מתכנון וניהול רפת שתוכננה וניבנתה במשך שנים סביב מכון חליבה. בנוסף הרובוטים פותחו לעבוד בתנאי אקלים וממשק השונים משלנו – מערב ארופה. גם מעט הנסיון שנצבר בעולם ב – 7-8 שנים אחרונות אינו מתאים במלואו לתנאי וחקלאי ישראל. על מנת לאפשר לאותם חקלאים, חלוצים ברובוט חליבה, לחסוך עבודה ולזהם פחות יש צורך בעזרה ממערכת המחקר.

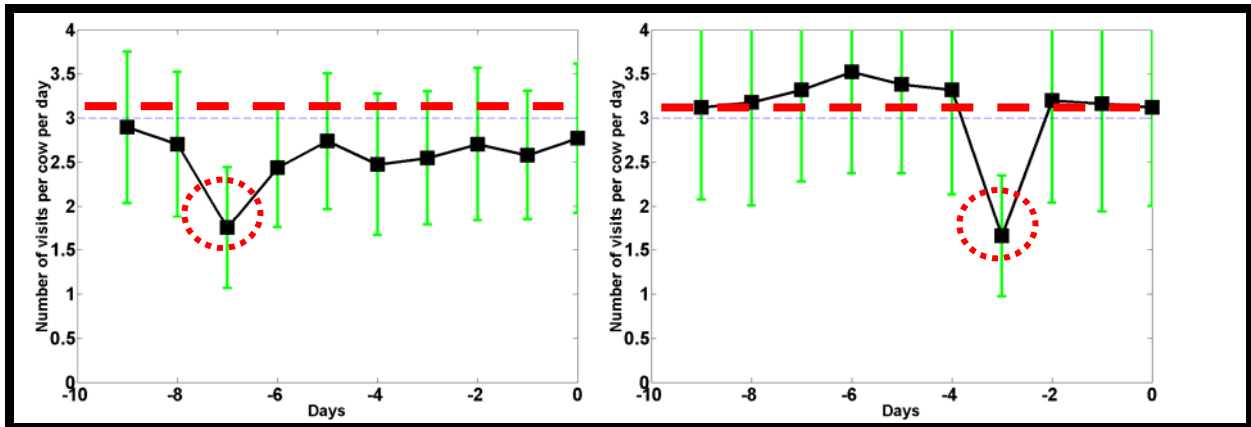
2.5 תוצאות המחקר

בשנה הראשונה (2001) תוכננו מספר רפתות ברחבי הארץ וחלקן נבנו. העקרון התכנוני הראשון היה נסיון להתאמת הרובוט לממשק הישראלי: כיווני אוויר וצינור, הזנת בליל, סככה פתוחה (לא תאי רביצה). לשם כך השתמשנו במודל סימולציה שפותח במחקר קודם (Halachmi 1999, PhD thesis). לאחר מספר נסיונות הגענו למשק מודל – תכנון הרפת והפעלה מיטבית של הרובוט בתנאי ישראל. המשק נמצא ביבניאל והמחקר דווח בספרות המקצועית (Halachmi 2004; Halachmi and Shoshani 2003). הרפת ביבניאל תוכננה לתנאי הארץ – סככה פתוחה, ללא תאי רביצה וללא מרעה. למיטב ידיעתנו, אין בספרות המקצועית דיווח על התנהגות פרות בסככה פתוחה (כוללת) ובתנאי אקלים האופייניים לארץ. נתונים אלו חייבו תכנון ייחודי לגבי מיקום הרובוט באמצעות תרחישי סימולציה. אנו יכולים לדווח כיום שבסככה הפתוחה הנ"ל כמעט ואין צורך להביא פרות באופן ידני, נצילות הרובוט היומית הממוצעת הגיעה ל – 84% (תחזית הסימולציה לפני הבנייה: 85%) ומספר החליבות הממוצע 3.3 גם בימים חמים. להלן מספר תוצאות מהמאמרים שפורסמו. באיור 1 אפשר לראות את בעיית התגודדות. הפרות התרכזו בצד הסככה הרחוק מהרובוט ולא הלכו להיחלב. היות ובתרחישי הסימולציה, בשלב התכנון, התכוננו לאפשרות זו, הוצאנו לפועל את "תוכנית המגירה" – התקנת מאווררים סמוך לרובוט. אכן המאווררים משכו את הפרות והבעיה נפתרה. באיור 2 מספר חליבות ולונטרי לפני ואחרי התקנת הצינור. מאחר שכל חליבה מוסיפה כ 12 ליטר לפרה ליום, ברורה המשמעות הכלכלית של גילוי הבעיה בשלב התכנון המוקדם. בעזרת סימולציה אפשר לאתר בעיה, צוואר בקבוק או כשל תכנוני ולכן אפשר להתכונן מבעוד מועד.



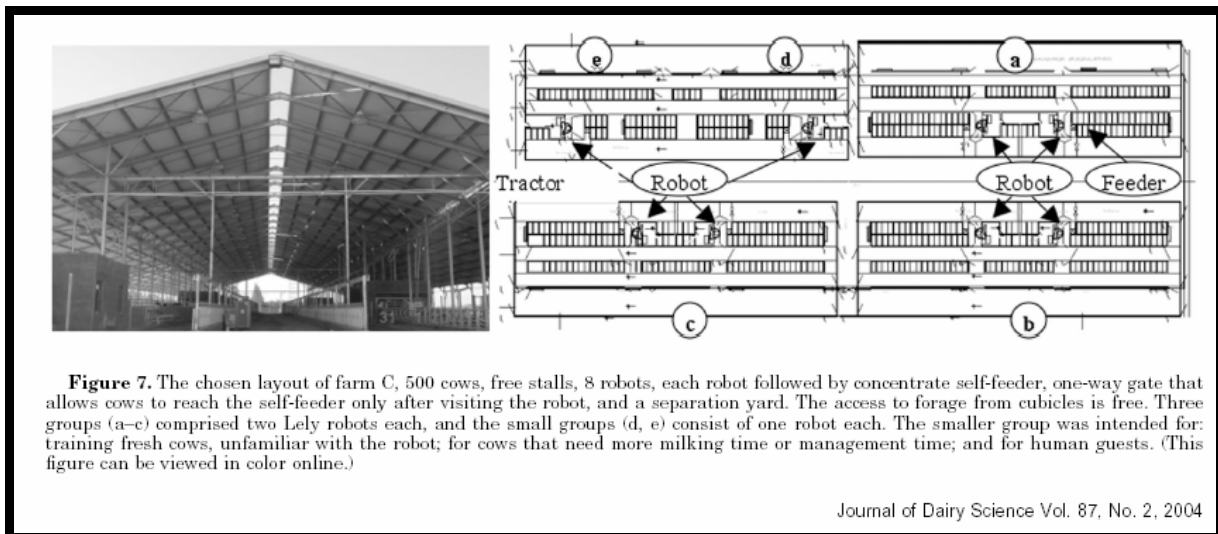
איור 1. בעיית התגודדות – כל הפרות התרכזו בקצה הסככה הרחוק מהרובוט (מקור: Halachmi and

(Shoshani 2003)



איור 2. מספר ביקורים ממוצע לפרה לפני (שמאל) ואחרי (ימין) התקנת הצינור. קוו אופקי מרוסק הוא קו 3 חליבות, עיגול מרוסק הוא יום של תקלה ברובוט, ציר X הוא ציר הזמן (ימים). הקו האנכי הוא סטית התקן וה- □ הוא הממוצע היומי. (מקור: Halachmi and Shoshani 2003)

באיור 3 אפשר לראות נסיון לנצל את יתרון הגודל גם ברפת רובוטית על ידי יצירת קבוצות חליבה בנוסף לקבוצות ההזנה שאפשר ליצור גם במכון. למרות שיתרון הגודל הצליח ברפת זו, בעיות בתאי רביצה (ללא קשר לרובוט או לתכן תנועת הפרות) עיכבו בשנה הראשונה מימוש כלל הפוטנציאל ברפת זו. משק מודל זה דווח בספרות (Halachmi 2004).



איור 3. תכנון רפת רובוטית גדולה לתנאי אקלים חם. מקור: Halachmi 2004

באיור 4 מוצג נסיון לתכנן רפת רובוטית כאשר, על מנת לחסוך עליות, מתבססים על המבנים הקיימים ברפת בשינויים מעטים ככל האפשר. למרות שתכנון בעזרת סימולציה של רפת זו הושלם, קשיים תקציבים מנעו רכישת הרובוטים והיא עדיין (15/3/04) לא שודרגה לרובוט.

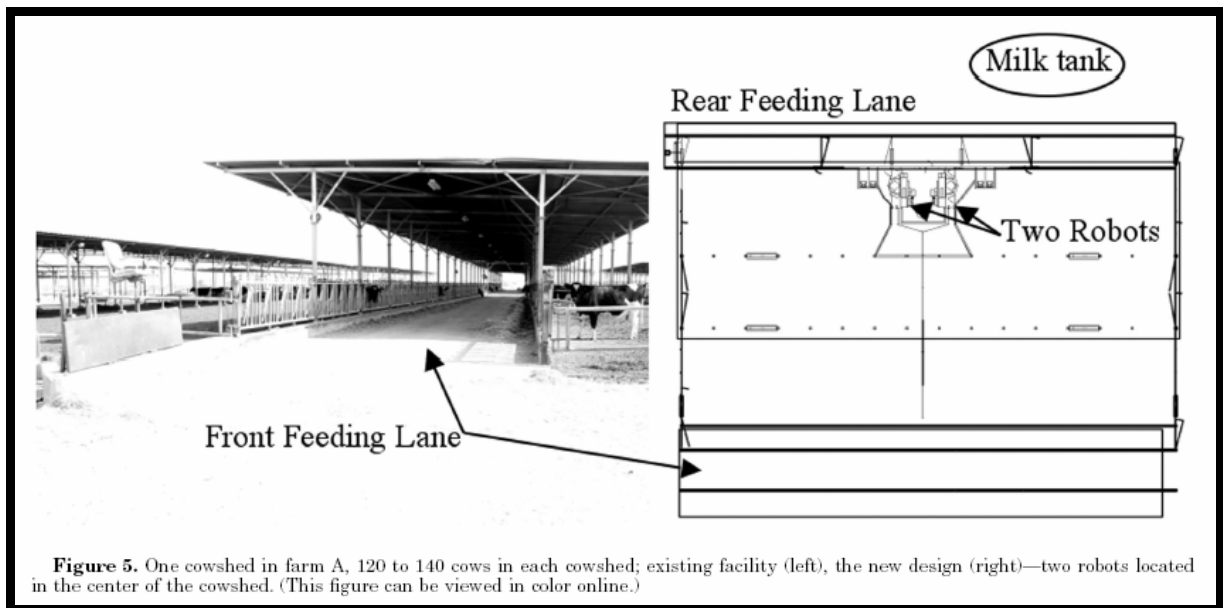
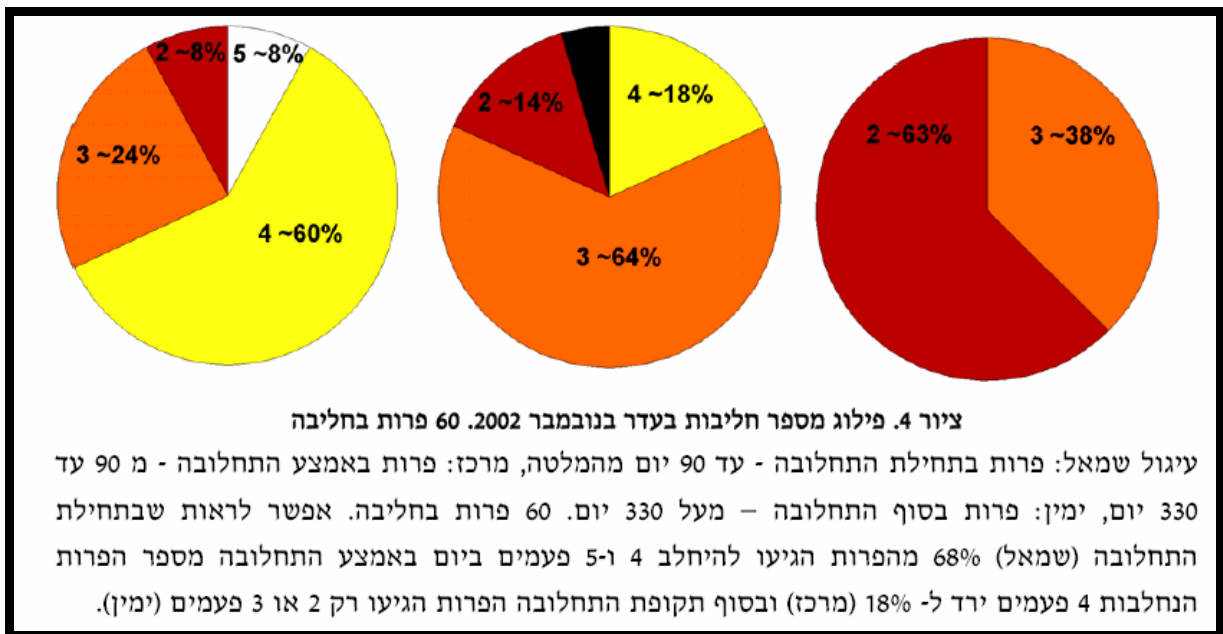


Figure 5. One cowshed in farm A, 120 to 140 cows in each cowshed; existing facility (left), the new design (right)—two robots located in the center of the cowshed. (This figure can be viewed in color online.)

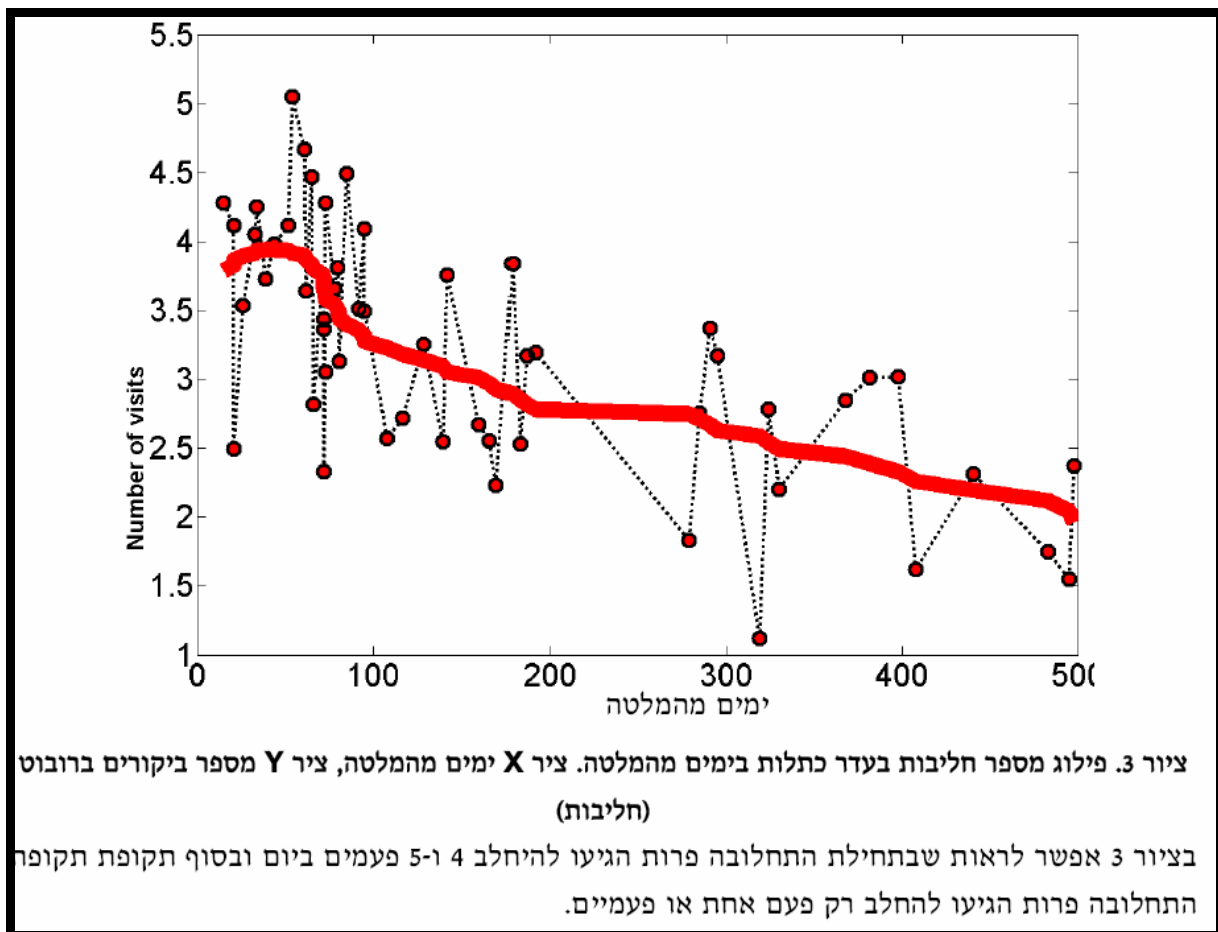
איור 4. תכנון רפת רובוטית לתנאי הערבה (אקלים מדברי) בתנאי רפת קיימת (מקור: Halachmi 2004)

בשנה השנייה (2002) התרכזנו בניהול הרפת מבחינה ממשקית. תדירות חליבה המתאימה לכל פרה בקבוצה ללא תוספת עבודה הכרוכה בהבאת פרות לחליבה. פותחו ונבחנו כללים בנוגע לניהול הרפת הרובוטית שפורסמו ב - . להלן תוצאות מהמאמרים שפורסמו. באיור 5 התפלגות החליבות לאורך תקופת התחלובה. אפשר לראות שללא תוספת עבודה (הפרות מגיעות לרובוט מרצונם החופשי, יום-ולילה ללא נוכחות אדם בתהליך החליבה) פרות מסוימות, לפי הגדרות במחשב, נחלבות 5 פעמים ביום ואחרות פעמיים. תדירות חליבה גבוהה בתחילת תקופת התחלובה מגבירה תנובת החלב ומשפרת מקדם ההתמד ותדירות חליבה נמוכה בסוף תקופת התחלובה נובעת ממגבלת ניצולת הרובוט (limited capacity):

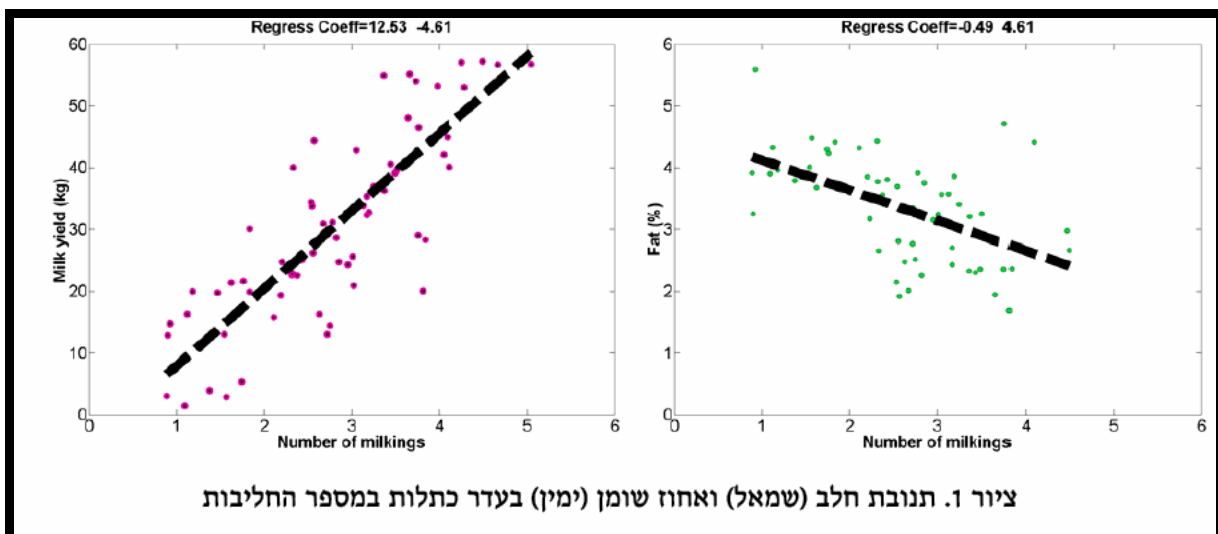


איור 5. ניהול מספר חליבות אופטימלי ברפת רובוטית (מקור: Halachmi 2003)

באיור 6 נתוני אותו עדר שהוצג באיור 5. כל נקודה באיור 6 היא ממוצע שבועי של מספר החליבות. ניתן להסיק שאכן, כאשר המערכת מתוכננת היטב, אפשר לחלוב חלק מהפרות 5 פעמים ביום ואחרות פעמיים באופן ייזום ולבחור את הפרות המתאימות לכך.



איור 6. ניצול אופטימלי של תפוסת (capacity) הרובוט באמצעות תדירות חליבה אינדוידואלית ברפת רובוטית (מקור: Halachmi 2003)



איור 7. השפעה על הרכב החלב באמצעות תדירות חליבה אינדוידואלית ברפת רובוטית (מקור: Halachmi (2003)

בשנה השלישית התחלנו לעבוד על השפעת הממשק הרובוטי על ההזנה תוך שמירת התנאי של מנת בליל מאוזנת המקובלת בארץ אולם מתן מזון מרוכז בנפרד מהבליל לשם משיכת הפרות לרובוט. להלן תוצאות. באיור 8 תגובת הפרות לשינוי הזנה. למרות שהפרות בקבוצת הניסוי אכלו כ 2 ק"ג ליום פחות מקבוצת הביקורת כמות הביקורים ברובוט (איור 9) לא פחתה:

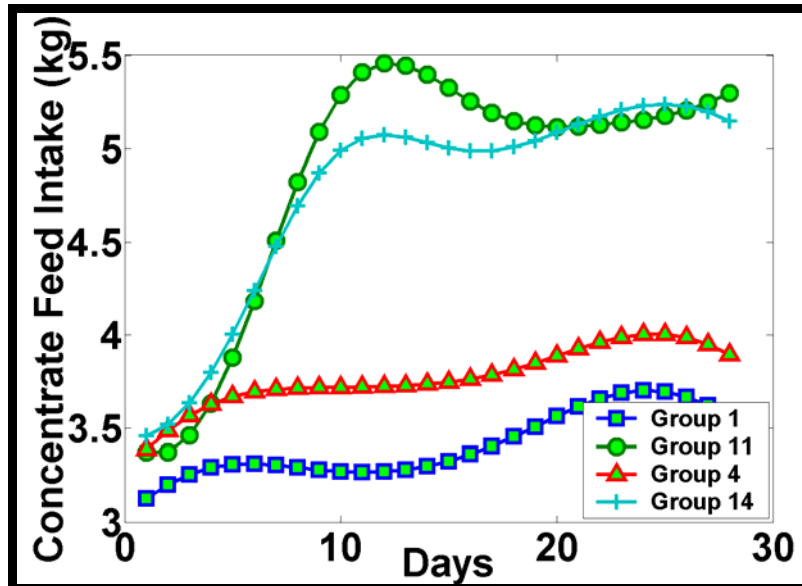


Figure 8. Cow responses to the changes in the feeding system – concentrate feed intake in the robot. Repetition I: group 1 (■) allowed a maximum 1.2 kg per visit to the robot; group 11 (●) allowed up to 7 kg by the linear accumulation method – 0.3 kg/h. Repetition II: groups 4 (▲) and 14 (+) were subjected to the same treatments as groups 1 and 11 respectively.

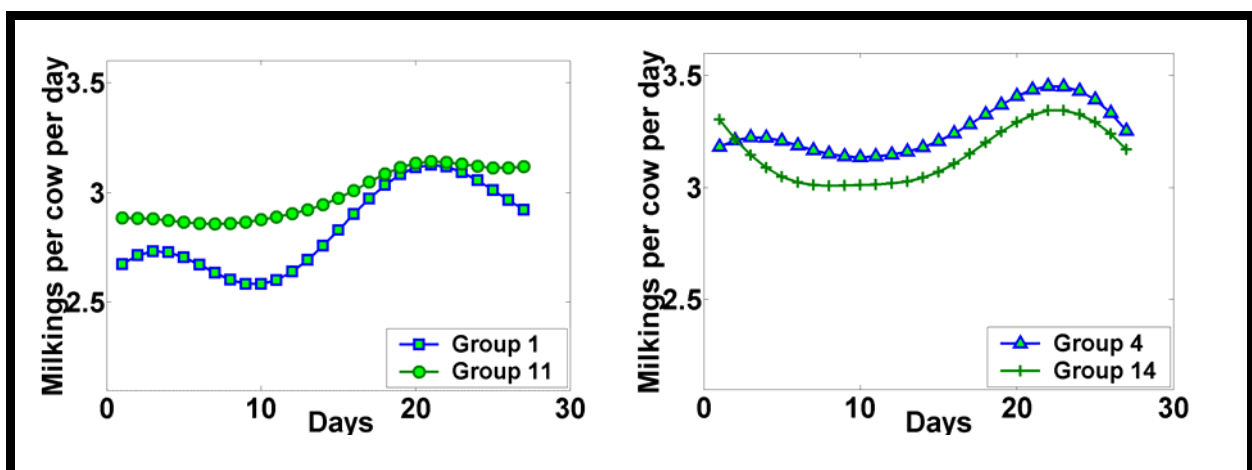


Figure 9. Number of voluntary milkings per cow per day in repetition I (left side): groups 1 (■, 1.2kg/visit) and 11 (●, 7kg/day) and in repetition II (right side): groups 4 (▲, 1.2kg/visit) and 14 (+, 7 kg/day).

עבודה זו תרמה להבנת כלל מרכיבי תכנון הרפת רובוטית בתנאי ישראל וממשק חליבה אזי מחקר המשך צריך להיתרכז בהזנה ברפת רובוטית.

2.6 הפצת המידע לחקלאים

המידע הופץ בשלושה מישורים:

1. פרסום בעתונות מקצועית (באחריותו של אילן). להלן רשימת הפרסומים שיצאו מהמחקר הזה, פרסומים בעברית תחילה:

Halachmi I; Shoshani E, (2003). Design the robotic milking farm fitted for hot climate and open cowshed. *Meshek Habakar ve Hachalva – Cheker and Mhaas* (in Hebrew, peer reviewed) 25: 31-36

Halachmi I, E Shoshani (2003). Design robotic milking farm; working under the Israeli hot climate conditions (in Hebrew). The 15th Conference on Dairy and Beef Science. 25-27 February 2003, Jerusalem, Israel. P 219-220

Halachmi I (2003) Optimal milking frequency and managing a robotic milking farm under hot climate (Israeli) conditions. *Meshek Habakar ve Hachalv* (In Hebrew) 302: 39-41

Halachmi I. (2004); Designing the Automatic Milking Farm in a Hot Climate. *Journal of Dairy Science* 87(3): 764-775

Halachmi I (2003). Managing robotic milking for high yielding cows; Effects of the robotic milking on milk quality with reference to typical products. Proc. Rome, Italy, 30 August. Abstract in *Italian Journal of Animal Science* 4(2): 313

2. הדרכה במשקים (באחריותו של עזרא). להלן רשימת המשקים שנערכו בהם ביקורים בנושא הכנסת רובוט: רפת חפר, רפת קרמר-יבניאל, רפת גולן-כפר ויתקין, רפת בית אלפא, צבי מרקס – אורות, אילן קיפניס-כפר ויתקין, משמר העמק, פארן, סמר, משק לוי – כפר יחזקאל, משק פלדמן-בית שערים, יוטבתה
3. מתוכנן כנס חקלאים בנושא חליבה רובוטית (יוני 2004 אחריות משותפת).

לסיכום

הרפת הרובוטית הינה מערכת אחת (system) שכל רכיביה תלויים זה בזה. לכן קשה להפריד בין הזנה, ממשק ותפעול על מנת לחקור כל פרמטר בנפרד. למשל הספק הרובוט משפיע על מספר החליבות, ומכאן על כמות המזון ויתר רכיבי המערכת. הספק הרובוט הוא לכאורה נתון מכני אולם הוא תלוי בניהול – מועד ומשך ניקוי צנרת אוטומטי, הגעת הפרות, אופן תפעול וכו'. המזון משפיע על משיכת הפרות לרובוט אולם גם על מצב בריאותי, תנובה והרכב חלב, תנובת החלב משפיעה בתורה על משך כל חליבה ברובוט שמשפיעה על צריכת המזון ואלו רק שתי דוגמאות למורכבות הבעיה והתלות ההדדית בין כל רכיבי המערכת. המחקר תרם להבנת המנגנון.

Halachmi I; Shoshani E, (2003). Design the robotic milking farm fitted for hot climate and open cowshed. *Meshek Habakar ve Hachalva – Cheker and Mhaas* (in Hebrew, peer reviewed) 25: 31-36

תכנון רפת רובוטית לתנאי הארץ

אילן הלחמי, עזרא שושני. מינהל המחקר החקלאי - מרכז וולקני, האגף למיכון וטכנולוגיה - שה"מ. משרד החקלאות

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 מירבי 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 יחודי של רפת רובוטית בסככה פתוחה, ללא תאי רביצה, בממשק ישראלי אופייני. הרפת הגיעה לממוצע של 84% נצילות רובוט, ממוצע של 3.3 חליבות לפרה ליום גם בימים חמים כמעט ללא צורך בהבאת פרות.

[משק הבקר והחלב, חוברת חקר ומעש 2003 25:31-36 מפרסומי מינהל המחקר החקלאי 718/02 המאמר עבר ביקורת מדעית]

Halachmi I, E Shoshani (2003). Design robotic milking farm; working under the Israeli hot climate conditions (in Hebrew). The 15th Conference on Dairy and Beef Science. 25-27 February 2003, Jerusalem, Israel. P 219-220

תוצאות תכנון רפת רובוטית לתנאי אקלים חם

אילן הלחמי, עזרה שושני. מינהל המחקר החקלאי- מרכז וולקני, האגף למיכון וטכנולוגיה- שה"מ, משרד החקלאות,

תכנון רפת צריך לקחת בחשבון כל גורמי ממשק, ניהול, התנהגות פרות, התרחבות עתידית, אקלים ורוח, איכות סביבה, ועוד, לסכמם למערכת אחת ולגזור מהם את המבנה הפיזי האופטימלי לתנאים ושיטות הניהול של המשק בו תקום הרפת. תכנון המערך/הרפת הוא נושא מורכב, חליבה רובוטית דורשת תכנון מיוחד, תכנון התומך ברעיון של הגעת פרה מרצונה החופשי לרובוט. בעולם הצטבר נסיון מועט יחסית בתכנון רפתות רובוטיות וגם הוא מתאים בעיקר לתנאי מערב ארופה – ירק טרי מוגש או במרעה, תחמיץ מאיכות מעולה, טמפרטורות נמוכות, השבחת העדר לכיוון מוצקים בחלב, תקני איכות חלב מחמירים וכ"ו. למיטב ידיעתנו אין בספרות המקצועית דיווח על התנהגות פרות בסככה פתוחה (כוללת, ללא תאי רביצה) ובתנאי אקלים האופיינים לארץ. נתונים אלו חיבו תכנון יחודי שהוצג בכנס הקודם, בכנס הזה נציג את ישום התכנון: נתונים ומסקנות מהרפת העובדת לפי התכנון הנ"ל.

[תקציר בכנס השנתי למדעי הבקר (ה- 15) ירושלים פברואר 2003 עמודים 219-220]

ניהול רפת רובוטית בתנאי הארץ ומספר חליבות אופטימלי

אילן הלחמי, המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני

גוברת ההתעניינות ברפתות רובוטיות בארץ בעיקר בגלל חיסכון בעבודת ידים. אולם לרפת רובוטית כלים נוספים – חליבה והזנה אינדוידואלית. במאמר זה תוצאות רפת רובוטית העושה שימוש בכלי הניהול שמאפשר הרובוט, בתנאי הארץ – פרות גבוהות תנובה בסככה פתוחה (לא תאי רביצה). מספר החליבות המוצגות בניסוי הושגו כמעט ללא הבאת פרות ידנית לרובוט, רק באמצעי ניהול – הגדרות במחשב.

נמצא מקדם מתאם גבוה בין מספר חליבות לבין תנובת החלב 12.27 ליטר לחליבה נוספת, אולם מתאם שלילי (-0.42) בין אחוז שומן לכל חליבה נוספת, אולי בגלל תוספת מזון מרוכז. מקדם המתאם בין מספר החליבות לבין תנובת שומן שנמדד בניסוי זה הוא 0.31 ק"ג שומן לכל חליבה נוספת. פריסת החליבות ביום בממוצע לפרה לאורך תקופת התחלובה: 4 מיד אחרי ההמלטה ויורד לממוצע 2 חליבות בסוף תקופת החליבה. בניסוי מבוקר של חלונות הזנה הצלחנו להשפיע רק על 20% מקבוצת הביקורת. לכן במחקר המשך יש לבחון שיטות משיכה נוספות שיוכלו להיות מופעלות באופן אינדוידואלי לפרות מסוימות. התוצאות במאמר זה מדגימות את השימוש בהזנה וחליבה אינדוידואלית אלו בניהול רפת רובוטית בארץ.

[משק הבקר והחלב 2003 302:39-41]

Halachmi I. (2004); Designing the Automatic Milking Farm in a Hot Climate. *Journal of Dairy Science* 87(3): 764-775

תכנון משק עם חליבה רובוטית באקלים חם

אילן הלחמי, המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני

נעשה שימוש במודל מתמטי וסימולציה לעזרת 5 רפתנים בתכנון מיקום הרובוט ברפת שלהם. תכנון הרפת משפיע על תנועת הפרות לרובוט ולכן צריך להיות מתוכנן בקפידה. לכל רפתן תנאים מקומיים ושיטות ניהול הקובעות את הפתרון האופטימלי שלו. שיקולי תכנון שנלקחו בחשבון בעזרת המודל כללו (1) מיקום צינון, (2) התרחבות עתידית של הרפת, (3) מיקום מאביסים, שיקולי ושיטת הזנה, (4) מספר מאביסים כתלות בהרכב הבליל, (5) שימוש ברובוט חליבה בסככה פתוחה ללא תאי רביצה וללא מרעה, (6) מספר רובוטים עכשיו ובתרחישים עתידים (7) שימוש ביתרון הגודל גם ברפת רובוטית גדולה – לא שכפול של הרבה יחידות קטנות, (8) מיקום הרובוט בתרחשי הרחבת סככה (9) שטח רצפה בכל אזור ברפת, (10) מציאת צוארי בקבוק בתרחישי ניהול שונים. המודל איפשר לרפתנים לעבוד בשיטתם במעין רפת וירטואלית (סימולציה) לפני ההקמה ובכך לזהות כשל תכנוני לפני ההקמה. הרפת הראשונה נבחנה לאחר ההקמה והגיע לנצילות רובוט של 84% קרוב לתחזית המודל שחזה, בתנאים אלו, שנתיים קודם, (לפני ההקמה) 85% נצילות

Journal of Dairy Science 87(3): 764-775

Halachmi I (2003). Managing robotic milking for high yielding cows; Effects of the robotic milking on milk quality with reference to typical products. Proc. Rome, Italy, 30 August. Abstract in *Italian Journal of Animal Science* 4(2): 313

ניהול רפת עם חליבה רובוטית לפרות גבוהות תנובה

אילן הלחמי, המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני

חליבה רובוטית משפיעה כמעט על כל האספקטים של ניהול הרפת. תכנון מוצלח צריך לתמוך בתפיסת החליבה מרצון (voluntary milking). מנהל העדר יכול להשתמש בתדירות חליבה אינדוידואלית המבוססת על פוטיציאל תנובה (גנטי), ימים מהמלטה, מצב גופני ושינוי משקל גוף. תנובה גבוהה צריכה לקבל פיצוי אנרגטי הולם, לכל פרה באופן אישי.

מטרת המחקר היתה לשלב הזנה במנה כולית עם חליבה רובוטית. נבחנו שתי שיטות: (1) הקצת מזון מרוכז יומית – 7 ק"ג ליום (להלן יקרא 'השיטה ההולנדית') כנגד (2) הקצאת מזון 1.25 ק"ג בחליבה (להלן יקרא 'סוכריה ברובוט'). 100 פרות השתתפו בניסוי, נעשו שתי חזרות.

שיטת הסוכריה הפרות אכלו 3.5 ק"ג לפרה במוצע בלבד, לעומת ממוצע של 5 ק"ג בשיטה ההולנדית – כמות הביקורים, תנובת החלב והרכבו היו ללא שינוי. התוצאות מרמזות ש 1.25 ק"ג מזון מרוכז שנבחן בניסוי מספיק למשיכת הפרות לרובוט ואת היתר הן השלימו במנה הכולית באבוס.

Italian Journal of Animal Science 4(2): 313