

דוח מסכם לתכנית מחקר מספר 277-0165-09

**פיתוח חיישן אקוסטי לניטור התנהגות רעייה של בקר וצאן במרעה, בחורש וביער לשיפור החלטות ממשק**

An acoustic sensor to monitor grazing behaviour of ruminants on rangeland, woodland and in forests for the improvement of management decisions

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות ולהנהלת ענף מרעה

ע"י

המחלקה לגד"ש ומשאבי טבע, המכון לגד"ש, מינהל המחקר החקלאי	דוד אונגר
המחלקה לחישה, מידע ומיכון חקלאי, המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי	יוסף גרינשפון
המחלקה לחישה, מידע ומיכון חקלאי, המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי	עמוס מזרח
המחלקה לגד"ש ומשאבי טבע, המכון לגד"ש, מינהל המחקר החקלאי	יהושע בלנקמן

Eugene David Ungar, Institute of Plant Science, Agricultural Research Organization - the Volcani Center, POB 6, Bet Dagan. E-mail: [eugene@volcani.agri.gov.il](mailto:eugene@volcani.agri.gov.il)

Yoseph Grinshpun, Institute of Agricultural Engineering, Agricultural Research Organization - the Volcani Center, POB 6, Bet Dagan. E-mail: [yosephg@volcani.agri.gov.il](mailto:yosephg@volcani.agri.gov.il)

Amos Mizrach, Institute of Agricultural Engineering, Agricultural Research Organization - the Volcani Center, POB 6, Bet Dagan. E-mail: [amos@volcani.agri.gov.il](mailto:amos@volcani.agri.gov.il)

Joshua Blankman, Institute of Plant Science, Agricultural Research Organization - the Volcani Center, POB 6, Bet Dagan. E-mail: [joshua@volcani.agri.gov.il](mailto:joshua@volcani.agri.gov.il)

אוקטובר 2010

חשוון תשע"א

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא

חתימת החוקר:

רשימת פרסומים

Ungar, E.D., Blankman, J., Mizrach, A. (2007) The classification of herbivore jaw movements using acoustic analysis. p. 79-85 in Proceedings 3rd European Conference on Precision Livestock Farming, Skiathos, Greece, 3-6 June 2007.

Ungar, E.D., Blankman, J. and Mizrach, A. (2006) The use of acoustics to monitor the ingestive behavior of herbivores. p. 51-52 in Proceedings Annual Meeting and International Conference of the Israeli Society of Agricultural Engineers, May 9, 2006.

Ungar, E.D. and Rutter, S.M. (2006) Classifying cattle jaw movements: Comparing IGER Behaviour Recorder and acoustic techniques. *Applied Animal Behaviour Science* 98:11-27.

Ungar, E.D., Ravid, N., Zada, T., Ben-Moshe, E., Yonatan, R., Baram, H. and Genizi, A. (2006) The implications of compound chew-bite jaw movements for bite rate in grazing cattle. *Applied Animal Behaviour Science* 98:183-195.

Griffiths, W.M., Alchanatis, V., Nitzan, R., Ostrovsky, V., Ben-Moshe, E., Yonatan, R., Brener, S., Baram, H., Genizi, A. and Ungar, E.D. (2006) A video and acoustic methodology to map bite placement at the patch scale. *Applied Animal Behaviour Science* 98:196-215.

Ungar E.D., Ravid, N., Zada, T., Ben-Moshe, E., Yonatan, R., Brener, S., Baram, H. and Genizi, A. (2005) Chew-bites, jaw movement allocation and bite rate in grazing cattle as identified by acoustic monitoring. p. 487 in Proceedings of the XX International Grassland Congress. June 26th – July 1st, 2005, Dublin, Ireland.

Griffiths, W.M., Alchanatis, V., Nitzan, R., Ben-Moshe, E., Yonatan, R., Brener, S., Baram, H. and Ungar, E.D. (2005) Development of a 2-dimensional video-acoustic tool for monitoring bite placement. p. 489 in Proceedings of the XX International Grassland Congress. June 26th – July 1st, 2005, Dublin, Ireland.

## תוכן עניינים

3	.....	תקציר
4	.....	מבוא
4	.....	פירוט עיקרי הניסויים שבוצעו והתוצאות שהתקבלו
4	.....	ניסוי 1
5	.....	גישה א' לסיווג קולות
5	.....	גישה ב' לסיווג קולות
6	.....	זיהוי אירועי קול
7	.....	בניית מסד נתונים לאימות (ולידציה)
8	.....	ניטור אקוסטי בצאן
9	.....	פיתוח הציוד הפיזי שמותקן על בעל החיים
9	.....	הקלטות בעיזים
9	.....	דיון
10	.....	פרסומים מדעיים
10	.....	תודות למממנים
11	.....	טבלאות
14	.....	איורים
18	.....	סיכום עם שאלות מנחות

## תקציר

**הצגת הבעיה:** הרעיה היא תהליך מרכזי בקביעת רמת היצור של בעלי חיים במרעה. כל מידע אפשרי המטיל אור על תהליך זה עשוי לשרת את המגדל בשיפור החלטות ממשק. הגישה שלנו היא להסתכל על התנהגות רעיה. ניטור אקוסטי הוא כעת הטכנולוגיה המבטיחה ביותר שיכולה לספק מידע מדויק ורציף על התנהגות רעיה. ניטור אקוסטי מתבצע על ידי הצמדת מיקרופון לראש בעל החיים: אצל בקר – למצח, ואצל כבשים ועיזים – באזור האף או הקרן. על ידי כך ניתן לשמוע ולזהות תנועות לסת: נגיסות ולעיסות. **מטרות המחקר:** א. פיתוח אלגוריתמים לעיבוד אות אוטומטי כדי לבנות את הדגם היומי של פעילויות וקצב נגיסה במרעה עשבוני; ב. שדרוג הציוד הפיזי הקיים לחיישן שניתן ליישמו בבקר ובצאן, במרעה, בחורש וביער; ג. פיתוח אלגוריתם לעיבוד אות אקוסטי המסוגל להבחין בין צריכה של צומח עשבוני לצומח מעוצה. **שיטות העבודה:** ניסוי 1: הקלטות הושגו עבור שש פרות ברעיה בצומח עשבוני באמצעות הציוד שפותח במהלך המחקר. נעשה זיהוי וסיווג ידני לשלושת הסוגים של תנועת לסת: נגיסה, לעיסה, לעיסה-נגיסה. פותח אלגוריתם לסיווג אוטומטי של הקולות שמבוסס על רשתות עצביות. גישה נוספת שנבדקה מבוססת על ששה מאפיינים (תכונות) שהוצאו מספקטרום הקולות. פותח אלגוריתם לזיהוי אירועים (ללא סיווג) שמקבל כקלט קובץ קול גולמי ומייצר רצף של קטעי קול שכל אחד מהם אמור לכלול בתוכו "צליל" מבודד של תנועת לסת. ניסוי 2: בנינו מסד נתונים של הקלטות שעברו זיהוי וריצוף ידני של תנועות לסת. ההקלטות הן משבע ניסויי שדה שהתבצעו עם עגלות רפת. הסיווג כלל 9 קטגוריות של תנועת לסת, שכללו סיווגים לא וודאיים. ניסוי 3: הקלטות הושגו עבור ששה כבשים ברעיה באמצעות הציוד שפותח במהלך המחקר. פס הקול נותח באופן ידני, ונעשה סיווג של הרצפים לשלושת הסוגים של תנועת לסת.

**תוצאות עיקריות:** ניסוי 1, גישה א: החלק הראשון והשני של האלגוריתם השיגו שיעור סיווג נכון של 87% ו-91%, בהתאמה. ביחד, התקבל שיעור סיווג נכון של 90%. ניסוי 1, גישה ב: הושג שיעור סיווג נכון של 82% כאשר 4 מתוך 6 תכונות הוכנסו למודל. ניסוי 1, זיהוי אירועים: התקבלו תוצאות טובות וזיהינו את צירוף הפרמטרים שמניב את השילוב המיטבי בין סף קל מדי – שמזהה כמעט כל הקולות האמיתיים אבל בנוסף מזהה קולות שלא זוהו באופן ידני – לבין סף מחמיר מדי – שאינו מזהה קולות לא אמיתיים אבל גם לא מזהה את כל האמיתיים. ניסוי 2: בסיכום כללי של כל הניסויים, סווגו 21086 צלילים, 96% מהם נפלו בשלושת הקטגוריות הוודאיות. החלוקה בין שלושת הקטגוריות המאוחדות הייתה: לעיסות 44%; נגיסות 19%; לעיסות-נגיסות 37%. ניסוי 3: סווגו 2446 צלילים: לעיסות 65%; נגיסות 29%; לעיסות-נגיסות – זניח. זה מאוד שונה מחלוקת תנועות הלסת שמצאנו אצל בקר, ובמיוחד המיעוט של לעיסות-נגיסות, דבר שצפוי להקל על עבודת הסיווג האוטומטי. **מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות:** הפוטנציאל של ניטור אקוסטי הוכח במחקר זה. התקדמנו מאוד הן בתחום הציוד הפיזי והן בצד של פיתוח אלגוריתמים לעיבוד אות. ברור לנו איך לשפר את הציוד שיושב על בעל החיים ויש מוצרי מדף היום שאמורים לאפשר הקלטה רציפה של מספר ימים ללא החלפת סוללות. רעש חיצוני התגלה כבעיה בעיבוד אות ובזה נצטרך להתמקד בעתיד. כמו כן, האבחנה בין רעיה על צומח עשבוני לעומת צומח מעוצה טרם נפתרה.

## מבוא

הצריכה היא תהליך מרכזי במערכת רעיה. היא קובעת במידה רבה את רמת היצור של בעלי החיים הרועים בשטחי מרעה, ויש לה גם השפעה מכרעת על הצומח. אין דרך פשוטה, ישירה, זולה ומדויקת לקבוע את קצב הצריכה של בעלי חיים במרעה. זה מהווה בעיה עבור המגדל, וזה גם מהווה בעיה עבור המנהל של שטחי חורש ויער, כי לא ידוע מידת ניצול השטח וחלוקת הניצול בין צומח עשבוני לבין צומח מעוצה. כל מידע אפשרי המטיל אור על תהליך זה עשוי לשרת את המגדל בשיפור החלטות ממשק. הגישה שלנו היא להסתכל על התנהגות רעיה.

ניתן להגדיר התנהגות רעייה ברמות ארגון שונות. ברמה הכללית ביותר, הפעילות היומית מתחלקת בעיקר לפרקים של רעייה, העלאת גירה ומנוחה. דגם היומי של פעילויות אלה, השינויים החלים בו במהלך הזמן, והשוואת הדגמים במצבים שונים, מקנה תובנה לגבי מה שקורה בשטח – דבר שחסר כעת לחלוטין. ברמה מפורטת יותר, אפשר לאפיין את תהליך הרעיה עצמו (כלומר, רעיה בפועל) על ידי מדדים של קצב נגיסה ומספר הלעיסות לנגיסה. מדדים אלה קשורים ישירות לקצב הצריכה של בעל החיים. האטום של התנהגות רעיה הוא תנועת הלסת, ואפשר להתייחס לצריכה כרצף של תנועות לסת שתפקידן לנגוס או ללעוס את המצחייה.

שיטה מתאימה לניטור תנועות לסת מהווה אתגר לחוקרים עשרות שנים. ניטור אקוסטי הוא כעת הטכנולוגיה המבטיחה ביותר שיכולה לספק מידע מדויק ורציף על התנהגות רעיה. על ידי הצמדת מיקרופון על מצח (גולגולת) בעל חיים ברעיה ניתן לשמוע בצורה ברורה כל תנועת לסת. הנגיסות נשמעות כצלילים של קריעה, והלעיסות נשמעות כצלילים של כתישה. השיטה בשימוש במחקרים של החוקר הראשי מעל 10 שנים. ניטור אקוסטי הביא לשיפור משמעותי בהבנת תהליך הרעיה. השיטה גילתה את התנועה המורכבת מלעיסה ונגיסה יחד. השיטה נבדקה בבקר ובצאן, ויש לצפות שהיא תעבוד גם במיני בעלי חיים אחרים, כולל עיזים וסוסים. צעד קריטי בפיתוח הטכנולוגיה הוא לפתח אלגוריתם לעיבוד אות שיבצע את סיווג הצלילים לנגיסות, לעיסות, ולעיסות-נגיסות באופן אוטומטי.

מטרות המחקר: א. פיתוח האלגוריתמים לעיבוד אות אוטומטי כדי לבנות את הדגם היומי של פעילויות וקצב נגיסה במרעה עשבוני. ב. שדרוג הציוד הפיזי הקיים לחיישן שניתן ליישמו בבקר ובצאן, במרעה, בחורש וביער. ג. פיתוח אלגוריתם לעיבוד אות אקוסטי המסוגל להבחין בין צריכה של צומח עשבוני לצומח מעוצה.

## פירוט עיקרי הניסויים שבוצעו והתוצאות שהתקבלו

במהלך הפרויקט הזה עבדנו במספר ערוצים במקביל, ובדו"ח מסכם זה נציג מבט-על לגבי ההתקדמות שהושגה בהם. פירוט מלא לגבי כל אחד מהם ניתן למצוא בדוחות השנתיים והחצי-שנתיים של שלושת שנות המחקר.

**ניסוי 1:** השתמשנו בהקלטות של רעית בקר בצומח עשבוני. הקלטות הושגו עבור שש פרות שרעו על שטח תלתן ושטח עשב דגן. הותקנה על בעלי החיים מערכת מיקרופון אלחוטי. זה כללה מיקרופון קטן שהוצמד לאמצע המצח של בעל החיים באמצעות מנגנון מתאים, כאשר המיקרופון פונה כלפי

המצח (פנימה). ראה איור 1. הצלילים שודרו למקלט FM שהיה מחובר לכניסת האודיו של מצלמת ווידיאו. הצלילים ותמונות הווידיאו שנקלטו על ידי המצלמה הועברו כווידיאו דיגיטלי למחשב אישי. פס הקול של קטע הווידיאו הוצא ונותח ידני במחשב. אירועי הקול סווגו באופן "ידני" לשלושת הסוגים של תנועת לסת: נגיסות, לעיסות, לעיסות-נגיסות (תנועה משולבת). ראה טבלה 1. הופרדו שלושת הסוגים של אות וחושב הפרופיל הממוצע של אנרגיה מול תדר כדי לראות עד כמה האותות שונים. התוצאות מובאות באיור 2. ניתן לראות הפרדה נאותה בתכונות הממוצעות, אך השונות סביב העקומות האלה היא גבוהה מאוד, ולכן לא נוכל להשתמש בגישה פשוטה לסיווג האותות, כגון להסתמך על ערכי אנרגיה מוחלטים בתדרים נבחרים. הגישה הראשונה שבחרנו לבדוק היא רשתות עצביות.

**גישה א' לסיווג קולות:** פותח אלגוריתם לסיווג אוטומטי של הקולות שמבוסס על רשתות עצביות (neural networks). התכנות נעשית בסביבת התוכנה Matlab. האלגוריתם מחולק לשני חלקים. בחלק הראשון, התוכנית מבחין בין קולות שהן לעיסה בלבד, לבין קולות שיש בהן מרכיב של נגיסה, כלומר נגיסה בלבד או לעיסה-נגיסה. התוצאות של שלב זה מובאים בטבלה 2. מתוך 222 קולות (תנועות לסת) בבדיקה, 193 סווגו בצורה נכונה. זה שיעור סיווג נכון של 87%. החלק השני של האלגוריתם מקבל את הקולות שסווגו כ"מכיל מרכיב של נגיסה", ומחלק אותן לשני סוגים: נגיסה בלבד ולעיסה-נגיסה. התוצאות של שלב זה מובאים בטבלה 3. מתוך 132 קולות בבדיקה (דהיינו – הקולות בשורה של "לא לעיסות בלבד" [non-chews] בטבלה 2), 120 סווגו בצורה נכונה. זה שיעור סיווג נכון של 91%. אם נשלב ביחד את התוצאות של שני החלקים של האלגוריתם, מתקבלת התמונה המובאת בטבלה 4. מכאן ניתן לראות שהאלגוריתם סיווג נכון 200 מתוך 222 קולות (תנועות לסת). זה שיעור סיווג נכון של 90%. זוהי תוצאה מכובדת מאוד בתור ניסיון ראשון בסיווג קולות אלו.

**גישה ב' לסיווג קולות:** בחנו גישה אחרת לסיווג האותות האקוסטיות. השיטה הזאת מבוססת על מאפיינים שנראים לנו כמועמדים סבירים בתור קריטריונים לסיווג הקולות. מאפיינים אלו יוזנו אף הם למסגרת של רשת עצבית, ונבחן גם שיטות סטטיסטיות רגילות לחיזוי סוג הקול. אחרי עיבוד ידני של פס הקול, השלב הבא היה לבודד אירועי קול. את זה עשינו ל-168 נגיסות, 370 לעיסות, ו-360 לעיסות-נגיסות. ביצענו את הצעדים הבאים על כל קטע קול באמצעות תוכנית מחשב שנכתבה בתוכנת Matlab: א) יבוא קובץ מסוג wav. לתוך מסגרת Matlab, ב) ביצוע פונקציית FFT של 32768 נקודות, ג) נירמול אירוע הקול על ידי חילוק בערך העוצמה הגבוה ביותר. שש תכונות הוצאו מהספקטרום האלה (mean normalized power spectrum density plots). התעלמנו מערכי שיא בעלי ערכים פחות מ-0.001. בחרנו ערך זה אחרי שהסתכלנו על דוגמאות רבות, וראינו שכל הקולות התכנסו בערכים פחות מזה. ששת התכונות הן: א) התדר שבו השיא הגבוה ביותר ביחסים הנ"ל מתרחש, ב) התדר שבו השיא הנמוך ביותר ביחסים הנ"ל מתרחש, ג) סך הכל מספר השיאים ביחסים הנ"ל, ד) התדר הממוצע של כל השיאים, ה) רוחב הפס של השיאים, ו) מידת ההטיה בהתפלגות התדרים של השיאים.

נוצר קובץ ניתונים שבו כל רשומה מכילה צליל אחד: סוג הצליל, זיהוי בעל החיים, וששת התכונות הנ"ל עבור אותו צליל. ההתפלגויות של כל אחד מששת התכונות שהוצאו עבור שלושת סוגי הצליל מראות טווחים רחבים למדי וחפיפה משמעותית בטווחים אלה בין סוגי הצלילים (ראה איור 3). שלושה סוגים של ניתוח סטטיסטי/כמותי הופעלו על קובץ הניתונים: discriminant analysis, logistic regression, neural network analysis, כדי לבחון את טיב הסיווג על סמך התכונות שהוצאו.

ניתוח סטטיסטי מסוג stepwise discriminant analysis הראה שסך הכל מספר השיאים הייתה התכונה המועילה ביותר בסיווג הצלילים, והושג סיווג נכון בשיעור של 67.7%. הוספת התדר המרכזי העלב את הערך הזה ל-77.2%. השיעור הגבוה ביותר של סיווג נכון – 81.8% – הושג עם הוספת רחב פס השיאים ומידת ההטיה בהתפלגות התדרים של השיאים למודל הנ"ל. ניתוח הסיווג לגישה זו מסוכם בטבלה 5.

ניתוח סטטיסטי מסוג logistic regression אפשר לנו לכלול זיהוי הפרה כגורם במודל הסטטיסטי. גורם זה היה מובהק מאוד, ושיעור סיווג נכון של 86.7% הושג כאשר זיהוי הפרה וששת התכונות נכללו במודל. ניתוח הסיווג לגישה זו מסוכם בטבלה 6.

שמונה רשתות עיצביות נוצרו בעזרת ששת התכונות. רשת עיצבית אחת ניסתה לסווג את הצלילים, בלי להתחשב בזיהוי הפרה. רשת עיצבית אחרת ניסתה לסווג את הצלילים וגם לחזות מאיזה בעל חיים הוא בא. ששת רשתות העיצביות האירות נוצרו לכל בעל חיים בנפרד. הדיוק של שניים הראשונים היה נמוך מאוד. התוצאות לניתוחים הפרטניים מובאות בטבלה 7. באופן כללי, הדיוק של הסיווג היה נמוך יחסית עבור נגיסות וגבוה יחסית עבור לעיסות-נגיסות. התחום של שיעור סיווג נכון עבור ששת בעלי החיים לכל סוג צליל נע בין 25% – 63% לנגיסות; 70% – 90% עבור לעיסות-נגיסות; ו-65% – 80% עבור לעיסות.

**זיהוי אירועי קול:** פותח אלגוריתם שמשלים אלה שתוארו לעיל. בסופו של דבר, שני אלגוריתמים אמורים לעבוד ביחד בשרשרת: הראשון מזהה אירועים של תנועת לסת מייצרת קול, והשני מסווג את האירוע לסוג תנועת הלסת (נגיסה, לעיסה, וכו'). האלגוריתם מקבל כקלט קובץ קול גולמי (הקלטה רציפה של רעיה) ומייצר רצף של קטעי קול שכל אחד מהם אמור לכלול בתוכו "צליל" מבודד של תנועת לסת. האלגוריתם נכתב בתוכנה Matlab וכולל מספר פרמטרים שערכם האופטימאלי אינו ידוע מראש. המבנה הכללי של האלגוריתם מובא באיור 4. התוכנית מנתחת את קובץ הקול בעזרת חלון נע ברוב של 0.4 שניות, ורושמת את הזמן המדויק שבו היא מוצאת את העוצמה הגבוהה ביותר שהיא מעל סף מינימאלי, ובתנאי שמקסימום זה מתרחש לפחות 0.4 שניות אחרי המקסימום הקודם שזוהה. ישנם שלושה פרמטרים עיקריים בתוכנית: גודל החלון הנע; סף עצמת אות לזיהוי אירוע; זמן מינימום בין אירועים.

נעשו הרצות רבות של האלגוריתם בצירופים שונים של פרמטרים אלה, כאשר השתמשנו באותם הקלטות של רעיית בקר ששימשו את פיתוח האלגוריתם של סיווג הצלילים. התוצאות – הזמן המדויק של מרכז כל צליל – הושאו לערכים שנקבעו באופן ידני. לשם כך נכתב תוכנית מחשב נפרדת

שמבצעת את ההשוואה בין שני הרצפים. בתוכנית זו היה צורך לקבוע סף הפרש זמן שמתחתיו זמן אירוע מחושב נחשב להתאים לזמן אירוע שנקבע ידני. נבחנו ספים של 0.1, 0.2, ..., 0.6 שניות. התוצאות מובאות בטבלה 8. הטור השמאלי מראה את זיהוי ההקלטה (סוג צומח ומספר בעל חיים), וגם את "סף ההתאמה". ארבעת הטורים הבאים מראים את אחוז ההתאמה בין האירועים המחושבים לבין האירועים שזוהו באופן ידני, עבור פרמטר סף עוצמה של 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, ו-0.6. יחידות אנרגיה. ארבעת הטורים הימניים מראים את אחוז השגיאה; זה מספר האירועים המדומים (מחושבים אך לא קיימים) ביחס לסה"כ האירועים. על פי רוב, בסף עוצמה נמוך, מידת ההתאמה עם אירועים ידועים היא גבוהה, אבל יחד עם זאת, מספר אירועים שגויים גם לא מבוטל. בסף התאמה נמוך (קצר), מידת ההתאמה עם אירועים ידועים היא נמוכה, ויש יחסית הרבה זיהויים שגויים. בתחום שנבדק, סף ההתאמה הארוכה ביותר של 0.6 שניות נראה הכי טוב, ואינו כרוך במחיר מבחינת אירועים מדומים. לעומת זאת, סף העוצמה האופטימאלי הוא בתחום 0.3 יחידות עוצמת, וכאן יש צורך לוותר על זיהוי אירועים אמיתיים אם רוצים למנוע זיהוי אירועים מדומים.

באופן כללי, התקבלו תוצאות טובות למדי וזיהינו את צירוף הפרמטרים שמניב את השילוב המיטבי בין סף קל מדי – שמזהה כמעט כל הקולות האמיתיים אבל בנוסף מזהה קולות שלא זוהו באופן ידני – לבין סף מחמיר מדי – שאינו מזהה קולות לא אמיתיים אבל גם לא מזהה את כל האמיתיים.

**בניית מסד נתונים לאימות (ולידציה):** כידוע, רצוי מאוד שאימות של מודל יתבצע על נתונים שלא שימשו לפיתוח וכיול המודל אלא מסט נתונים עצמאי לגמרי. כדי לספק נתונים כאלה, השקענו מאמצים בבניית מסד נתונים של הקלטות שעברו זיהוי ו"ריצוף" ידני של תנועות לסת. נתאר כאן את מסד הנתונים שהוכן עד כה לבקר. ההקלטות הן משבע ניסויי שדה שהתבצעו בבית דגן על מרעה זרוע ומושקה. בעלי החיים היו עגלות מהרפת המרכזית של מינהל המחקר, ושעברו תהליך אילוף ממושך על ידינו שאפשר הולכה בראשיה וחבל ובקרה שלמה בבעל החיים בשדה. למרות שיש רק שלושה סוגים של תנועות לסת בבקר, אנחנו משתמשים ב-9 קטגוריות, שכולל סיווגים לא וודאיים: 1. לעיסה (ל) או לעיסה-נגיסה (לנ); 2. נגיסה (נ) או לנ; 3. ספק לנ; 4. לנ וודאי; 5. ספק ל; 6. ל וודאי; 7. ספק נ; 8. נ וודאי; 9. לא ידוע. למטרת סיכום כללי של חלוקת תנועות לסת בין הסוגים השונים, איחדנו קטגוריות 1, 5, ו-6 כלעיסות; 2, 7, ו-8 כנגיסות; ו-3 ו-4 כלעיסות-נגיסות.

הניסוי הראשון היה בסגנון "רעיה חופשית" על שטח הומוגני של שיבולת שועל. היו בעלי חיים שונים. בסה"כ סווגו 3239 צלילים, 96% מהם נפלו בשלושת הקטגוריות הוודאיות (4, 6, ו-8). החלוקה בין שלושת הקטגוריות המאוחדות הייתה: לעיסות 39%; נגיסות 22%; לעיסות-נגיסות 39%. הניסוי השני, השלישי, הרביעי, והחמישי היה בסגנון רעיה לאורך רצועות של צומח. הניסוי השני היה בשיבולת שועל, והיו 4 בעלי חיים שונים, ושתי חזרות כל אחד. בסה"כ סווגו 2061 צלילים, 94% מהם נפלו בשלושת הקטגוריות הוודאיות. החלוקה בין שלושת הקטגוריות המאוחדות הייתה: לעיסות 45%; נגיסות 27%; לעיסות-נגיסות 28%. הניסוי השלישי היה באספסת, והיו 4 בעלי חיים שונים, ושש חזרות כל אחד. בסה"כ סווגו 3827 צלילים, 97% מהם נפלו בשלושת הקטגוריות הוודאיות. החלוקה בין שלושת הקטגוריות המאוחדות הייתה: לעיסות 49%; נגיסות 12%; לעיסות-נגיסות 39%. הניסוי הרביעי היה בשיבולת שועל, והיה בעל חיים אחד, וארבע חזרות. בסה"כ סווגו

652 צלילים, 99% מהם נפלו בשלושת הקטגוריות הוודאיות. החלוקה בין שלושת הקטגוריות המאוחדות הייתה: לעיסות 47%; נגיסות 23%; לעיסות-נגיסות 30%. הניסוי החמישי היה בזון, והיו 7 בעלי חיים שונים, וכארבע חזרות כל אחד. בסה"כ סווגו 4130 צלילים, 96% מהם נפלו בשלושת הקטגוריות הוודאיות. החלוקה בין שלושת הקטגוריות המאוחדות הייתה: לעיסות 43%; נגיסות 16%; לעיסות-נגיסות 41%. הניסוי השישי היה בסגנון "רעיה חופשית" על שטח הומוגני של אספסת, והיו 2 בעלי חיים שונים, ובין ארבע לחמש חזרות כל אחד. בסה"כ סווגו 1837 צלילים, 98% מהם נפלו בשלושת הקטגוריות הוודאיות. החלוקה בין שלושת הקטגוריות המאוחדות הייתה: לעיסות 36%; נגיסות 26%; לעיסות-נגיסות 38%. הניסוי השביעי היה בסגנון של רעיה בכתם בודד, ונעשה באספסת. היו 5 בעלי חיים שונים, וכעשר חזרות כל אחד. בסה"כ סווגו 5340 צלילים, 96% מהם נפלו בשלושת הקטגוריות הוודאיות. החלוקה בין שלושת הקטגוריות המאוחדות הייתה: לעיסות 47%; נגיסות 18%; לעיסות-נגיסות 34%. בסיכום כללי של כל הניסויים, בסה"כ סווגו 21086 צלילים, 96% מהם נפלו בשלושת הקטגוריות הוודאיות. החלוקה בין שלושת הקטגוריות המאוחדות הייתה: לעיסות 44%; נגיסות 19%; לעיסות-נגיסות 37%. בסיס נתונים זה ישמש לבדיקה של האלגוריתמים שפותחו עד כה, ושתוארו לעיל.

**ניטור אקוסטי בצאן:** השקענו מאמץ גדול בפיתוח הציוד הפיזי שמוקדן על בעל החיים. חשוב לציין שלא ניתן להשתמש באותו ציוד שפותח לבקר, הן מבחינת גודלו ומשקלו, והן מבחינת האנטומיה השונה של ראש צאן לעומת ראש בקר. פיתחנו שני דגמים לצאן. הראשון (איור 5א) נבדק באופן די רחב ונמצא מתאים ויעיל. העיקרון שעליו הציוד מבוסס דומה לזו של בקר: מיקרופון מוצמד לאזור הגולגולת; חוט מחבר בין המיקרופון למשדר; המשדר משדר את הסיגנל למקלט שמחובר למצלמת ווידיאו או מכשיר הקלטה. בבקר הצמדנו את המיקרופון במצח. בצאן אנחנו מצמידים אותו בשליש העליון של האף. המיקרופון הרבה יותר קטן וקל בציוד של צאן לעומת זו של בקר. המיקרופון הוא מסוג: subminiature condenser Lavalier microphone, Shure Incorporated, USA, model WL93 והמשדר/מקלט הוא מסוג:

crystal control FM wireless transmitter & receiver, Elkat, Israel, model RB-50, 173.225 MHz  
 רצועה אלסטית שעוברת מתחת ללסת מחזיקה את המיקרופון במקום. רצועה נוספת מחברת בין המיקרופון לבין קולר סביב הצוואר. זה משפר את קיבוע המיקרופון במקום ומונע ממנו לזוז כלפי מטה לכיוון הפה.

השגנו הקלטות איכותיות באמצעות תצורה זו של הציוד. המקלט היה מחובר למצלמת ווידיאו: Canon MV400I digital video camcorder. למטרת ריצוף מפורט של הסיגנל, דגמנו כ-5 דקות רעיה מכל אחד של שש כבשים. הריצוף של הסיגנל האקוסטי נעשה ללא שימוש בסרטי הווידיאו. למרות שיש רק שלושה סוגים של תנועת לסת (נגיסה, לעיסה, לעיסה-נגיסה), אנחנו משתמשים ב-9 קטגוריות, שכולל סיווגים לא וודאיים: 1. לעיסה (ל) או לעיסה-נגיסה (לנ); 2. נגיסה (נ) או לנ; 3. ספק לנ; 4. לנ וודאי; 5. ספק ל; 6. ל וודאי; 7. ספק נ; 8. נ וודאי; 9. נ או ל; 10. לא ידוע. למטרת סיכום כללי של חלוקת תנועות לסת בין הסוגים השונים, איחדנו קטגוריות 1, 5, ו-6 כלעיסות; 2, 7, ו-8 כנגיסות; ו-3 ו-4 כלעיסות-נגיסות.



מה הדגם של תנועות לסת על פני הזמן? האם סוגים שונים של תנועות לסת באים בקבוצות? האם הקצב של תנועות לסת הוא די אחיד או משתנה מאוד? בדקנו את דגם תנועות הלסת על פני הזמן בשש ההקלטות. איור 6 מראה את דגם תנועות הלסת על פני הזמן בשש ההקלטות. הדגם הוא רגולארי מאוד עם מעט הפסקות (11 בציר ה-Y). הדגם הוא רגולארי מאוד עם מעט הפסקות. מתוך סך הכל 2446 תנועות לסת, לא הצלחנו לזהות 60 (2.5%). שיעור הלעיסות היה 61.4% (וודאי) ו- 3.2% (ספק), או 64.6% ביחד. שיעור הנגיסות היה 22.0% (וודאי) ו- 6.9% (ספק), או 28.9% ביחד. זיהינו לעיסות-נגיסות אצל בעל חיים אחד בלבד, ובשיעור נמוך. יתר הקטגוריות היוו שיעור די נמוך של תנועות הלסת. אצל חלק מבעלי החיים יש רושם שהנגיסות נעשו בקבוצות מרוכזות. דגם מפוזר יותר רואים אצל כבשה מספר 6331.

השלה הבא בעבודה עם הקלטות אלה הוא להפעיל עליהם את האלגוריתמים השונים שפיתחו עבור בקר, לראות עד כמה הם מסוגלים להתמודד בסוג כזה של אות (וגם קצב אירועים גבוה יותר מאשר בבקר), ולראות איזה התאמות דרושות לאלגוריתמים כדי לשפר את הביצועים שלהם.

**פיתוח הציוד הפיזי שמותקן על בעל החיים:** כמתואר לעיל, עבדנו בשני סטים של ציוד לניטור אקוסטי, אחד מותאם לבקר ואחד לצאן. בשני המקרים, העיקרון הוא שעל בעל החיים יושב מיקרופון ומשדר אלחוטי, ובמרחק של מספר מטרים מישהו עוקב אחרי בעל החיים ומחזיק מקלט שמחובר, בדרך כלל, למצלמת ווידאו. הסידור הזה של משדר ומקלט אינו פתרון לתצורה סופית של ציוד לניטור אקוסטי, ויש גם צורך לשפר את הציוד מבחינת האמידות שלו להפרעות פיזיות. כדי להשתחרר מהמגבלות של משדר ומקלט, רכשנו ציוד שאוגר את האות במכשיר מאוד קטן וקל (כעין מכשיר MP3) שיישב על בעל החיים. בשלב זה לא נשנה את מיקום המיקרופון, שהוא על המצח אצל בקר, ועל האף (מספר סנטימטרים מתחת לקו העיניים) בצאן. הציוד הורכב במעבדה לאלקטרוניקה במכון להנדסה חקלאית, והתחלנו לבחון אותו בשטח. הדגם הזה של ציוד לניטור אקוסטי בצאן (איור 5) עדיין בשלבי בדיקה בשטח. בתצורה הזאת, השתמשנו במיקרופון זול יחסי שמחובר ישירות למכשיר הקלטה שמאפשר הקלטה רציפה של כ-20 שעות באיכות סבירה. חשוב לציין שבשלב זה אנחנו לא עוסקים בעיצוב החומרה אלא בבדיקת העיקרון. לכן הציוד נראה די מאולתר, אבל אין טעם להשקיע בעיצוב החומרה עד שיש לנו ביד את המרכיבים העיקריים של מערכת עובדת.

**הקלטות בעיזים:** עד תחילת הפרויקט הזה היו בידינו יחסית מעט הקלטות של צאן, ואחת המטרות שלנו הייתה להרחיב את בסיס הנתונים שלנו. לכן, נעשו הקלטות של רעית עיזים, בהתאם לתוכנית. הקלטות אלה התבצעו ברמת הנדיב, על עיזים שרועים בחורש ים-תיכוני סבוך. כמו כן ביצענו הקלטות אצל עדרים נוספים באזור הגליל המערבי. בעתיד, הקלטות אלה יעברו סיווג ידני ולאחר מכן, נעביר את ההקלטות דרך האלגוריתם שפיתח לבני בקר. נראה אז אם יש צורך לפתח אלגוריתמים נפרדים לשני המינים או שאפשר להסתפק באלגוריתם כללי אחד.

## דיון

הקלות הנראית לעין שבה המוח של האדם מצליח להבחין בין שלושת סוגי הצליל שנוצרים על ידי תנועות לסת של בעלי חיים ברעייה (נגיסות, לעיסות, ואצל בקר – גם לעיסות-נגיסות) היא מטעה:

אוטומציה של התהליך בעזרת אלגוריתם של מחשב היא אתגר רציני. יתרה מזו, הניתוח הנ"ל מצביע על כך שיש הבדלים חשובים בין בעלי חיים, וזה בוודאי אחד הגורמים שעלול להגביל את הדיוק של כל גישה שלא מנסה להתאים את עצמה לפרט. אפשר למנות גורמים שיעלול להגביל את הדיוק: 1. קביעת ההתחלה והסוף של צליל מאוד קשה ברמת המיקרו-שנייה. 2. כמות הצומח שבע"ח נוגס במהלך נגיסה משתנה, וכן התדרים עלולים להשתנות. 3. כמות הצומח שכבר נמצאת בפה של בע"ח מנגיסות קודמות עלולה להשתנות, וכן התדרים עלולים להשתנות. 4. בתנועת לסת מסוג לעיסה-נגיסה, האורך של הלעיסה ושל הנגיסה משתנה מאוד. 5. צלילים או רעשים אחרים עלולים להיות מוקלטים על ידי המיקרופון. דרך אחת להתמודד בבעיה האחרונה הזאת היא להשתמש במיקרופון נוסף שמיועד לקלוט בעיקר את רעשי הסביבה, והם יוחסרו מפס הקול שמוקלט על ידי המיקרופון העיקרי. זאת עליית מדרגה במורכבות המערכת, ונשתדל לא ללכת בכיוון הזה אלא אם כן אין ברירה. האימות של האלגוריתמים מול בסיס הנתונים הגדול שבנינו תכריע בעניין זה, ובכוונתנו לבצע את האימות אם וכאשר נשיג מימון להמשך המחקר. בינתיים עלינו למצות את הגישות הפשוטות יותר, להשיג רמה סבירה של דיוק בכבשים ובעיזים כמו בבקר, ולתקוף את הנושא של הפרדה בין צומח עשבוני לצומח מעוצה.

### פרסומים מדעיים

- Ungar, E.D. and Rutter, S.M. (2006) Classifying cattle jaw movements: Comparing IGER Behaviour Recorder and acoustic techniques. *Applied Animal Behaviour Science* 98:11–27. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2005.08.011>
- Ungar, E.D., Ravid, N., Zada, T., Ben-Moshe, E., Yonatan, R., Baram, H. and Genizi, A. (2006) The implications of compound chew-bite jaw movements for bite rate in grazing cattle. *Applied Animal Behaviour Science* 98:183–195. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2005.09.001>
- Griffiths, W.M., Alchanatis, V., Nitzan, R., Ostrovsky, V., Ben-Moshe, E., Yonatan, R., Brener, S., Baram, H., Genizi, A. and Ungar, E.D. (2006) A video and acoustic methodology to map bite placement at the patch scale. *Applied Animal Behaviour Science* 98:196–215. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2005.10.006>
- Rutter, S.M., Ungar, E.D., Molle, G. and Decandia, M. (2002) Bites and chews in sheep: Acoustic versus automatic recording. Xth European Intake Workshop, Reykjavik, Iceland. 22-24 August 2002.
- Ungar E.D., Ravid, N., Zada, T., Ben-Moshe, E., Yonatan, R., Brener, S., Baram, H. and Genizi, A. (2005) Chew-bites, jaw movement allocation and bite rate in grazing cattle as identified by acoustic monitoring. p. 487 in Proceedings of the XX International Grassland Congress. June 26th – July 1st, 2005, Dublin, Ireland.
- Griffiths, W.M., Alchanatis, V., Nitzan, R., Ben-Moshe, E., Yonatan, R., Brener, S., Baram, H. and Ungar, E.D. (2005) Development of a 2-dimensional video-acoustic tool for monitoring bite placement. p. 489 in Proceedings of the XX International Grassland Congress. June 26th – July 1st, 2005, Dublin, Ireland.
- Ungar, E.D., Blankman, J. and Mizrach, A. (2006) The use of acoustics to monitor the ingestive behavior of herbivores. p. 51-52 in Proceedings Annual Meeting and International Conference of the Israeli Society of Agricultural Engineers, May 9, 2006.
- Ungar, E.D., Blankman, J., Mizrach, A. (2007) The classification of herbivore jaw movements using acoustic analysis. p. 79-85 in Proceedings 3rd European Conference on Precision Livestock Farming, Skiathos, Greece, 3-6 June 2007.

**תודתנו לקק"ל/הנהלת ענף המרעה וקרן מדען ראשי שמימנו את המחקר.**

**טבלה 1.** אורך התצפית, מספר תנועות לסת והסיווג שלהן, אורך ההפסקות, קצב תנועת לסת, וקצב נגיסה כפי שנקבע על ידי ניטור אקוסטי של בקר במרעה. קצב תנועת לסת נטו וקצב נגיסה נטו מבוססים על אורך התצפית פחות אורך ההפסקות. קצב הנגיסה מבוסס על הסיווגים הבאים: נגיסה בלבד, לעיסה-נגיסה, נגיסה בסבירות, לעיסה-נגיסה בסבירות, נגיסה-או-לעיסה-נגיסה.

Measure	Animal						Mean
	2556	2247	844	56	1950	1923	
Observation duration (s)	627	536	659	604	461	634	587
Sound bursts	726	535	801	735	518	769	681
bite only	23	98	10	22	45	21	37
chew only	280	138	363	331	246	241	267
chew-bite	412	253	419	317	197	494	349
probable bite	1	1	0	6	4	0	2
probable chew	3	2	1	3	2	0	2
probable chew-bite	2	18	1	15	10	2	8
bite or chew-bite	0	15	1	10	2	2	5
chew or chew-bite	4	3	1	17	9	6	7
bite or chew	0	1	5	0	0	1	1
unknown	1	6	0	14	3	2	4
% bite or probable bite	3.3	18.5	1.2	3.8	9.5	2.7	6.5
% chew or probable chew	39.0	26.2	45.4	45.4	47.9	31.3	39.2
% chew-bite or probable chew-bite	57.0	50.7	52.4	45.2	40.0	64.5	51.6
% other	0.7	4.7	0.9	5.6	2.7	1.4	2.7
RJM (min <sup>-1</sup> )	69.5	59.9	72.9	73.0	67.4	72.8	69.2
Bite rate (min <sup>-1</sup> )	41.9	43.1	39.2	36.8	33.6	49.1	40.9
Pauses ≥ 2 s	2	22	3	6	12	2	7.8
Total pause duration (s)	2.9	106.8	12.7	13.0	23.0	4.3	27.1
Net RJM (min <sup>-1</sup> )	69.8	74.8	74.4	74.6	71.0	73.3	73.0
Net bite rate (min <sup>-1</sup> )	42.1	53.8	40.0	37.6	35.3	49.5	42.9

**טבלה 2.** תוצאות השלב הראשון של הרשת העצבית, שמבחין בין תנועות לסת שיש בהן מרכיב של לעיסה לאלה שהם נגיסה בלבד. הערכים שבאלכסון שיוורד משמאל לימין הם חיזויים נכונים.

Actual	Predicted	
	Chews	Non-chews
Chews	<b>80</b>	10
Non-chews	19	<b>113</b>

**טבלה 3.** תוצאות השלב השני של הרשת העצבית, שמבחין בין תנועות לסת שהן נגיסה בלבד לאלה שהן לעיסה-נגיסה. הערכים שבאלכסון שיוורד משמאל לימין הם חיזויים נכונים.

Actual	Predicted	
	Bites	Chew-bites
Bites	<b>31</b>	11
Chew-bites	1	<b>89</b>

**טבלה 4.** התוצאות הכלליות של הרשת העצבית. הערכים שבאלכסון שיוord משמאל לימין הם חיזויים נכונים.

Actual	Predicted		
	Bite	Chew-bite	Chew
Bite	<b>31</b>	11	0
Chew-bite	1	<b>89</b>	0
Chew		10	<b>80</b>

**טבלה 5.** ניתוח סיווג למספר נגיסות, לעיסות, ולעיסות-נגיסות על בסיס ניתוח מסוג stepwise discriminant analysis כאשר ארבע תכונות הוכנסו למודל הסטטיסטי.

Actual	Predicted		
	Bites	Chews	Chew-bites
Bites	<b>99</b>	59	10
Chews	20	<b>324</b>	26
Chew-bites	13	35	<b>312</b>

**טבלה 6.** ניתוח סיווג למספר נגיסות, לעיסות, ולעיסות-נגיסות על בסיס ניתוח מסוג logistic regression כאשר זיהוי הפרה וששת התכונות הוכנסו למודל הסטטיסטי.

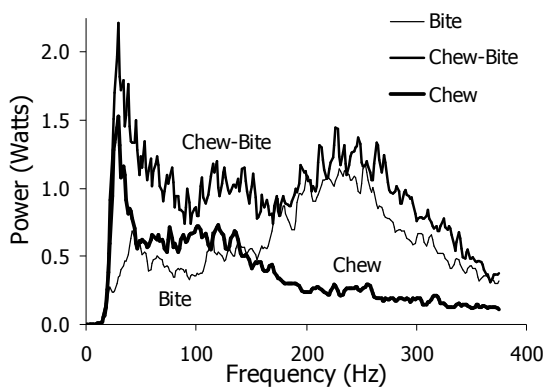
Actual	Predicted		
	Bites	Chews	Chew-bites
Bites	<b>129</b>	28	11
Chews	21	<b>323</b>	26
Chew-bites	4	29	<b>327</b>

**טבלה 7.** ביצועים של רשת עצבית שבה השתמשנו כדי לסווג קולות נגיסה (B), לעיסה (C), ולעיסה-נגיסה (CB) עבור בעלי חיים באופן פרטני. U = לא ידוע.

Cow	Actual	Predicted				% Correct
		B	CB	C	U	
56	B	4	0	0	5	44
	CB	2	38	9	1	76
	C	2	9	39	0	78
1923	B	4	0	0	4	50
	CB	0	17	3	0	85
	C	0	5	18	2	72
1950	B	12	8	1	1	55
	CB	1	16	3	0	80
	C	2	4	13	1	65
844	B	1	1	1	1	25
	CB	2	17	0	1	85
	C	1	6	13	0	65
2247	B	19	7	1	3	63
	CB	0	14	6	0	70
	C	1	5	13	1	65
2556	B	6	5	0	0	55
	CB	2	45	3	0	90
	C	0	10	40	0	80

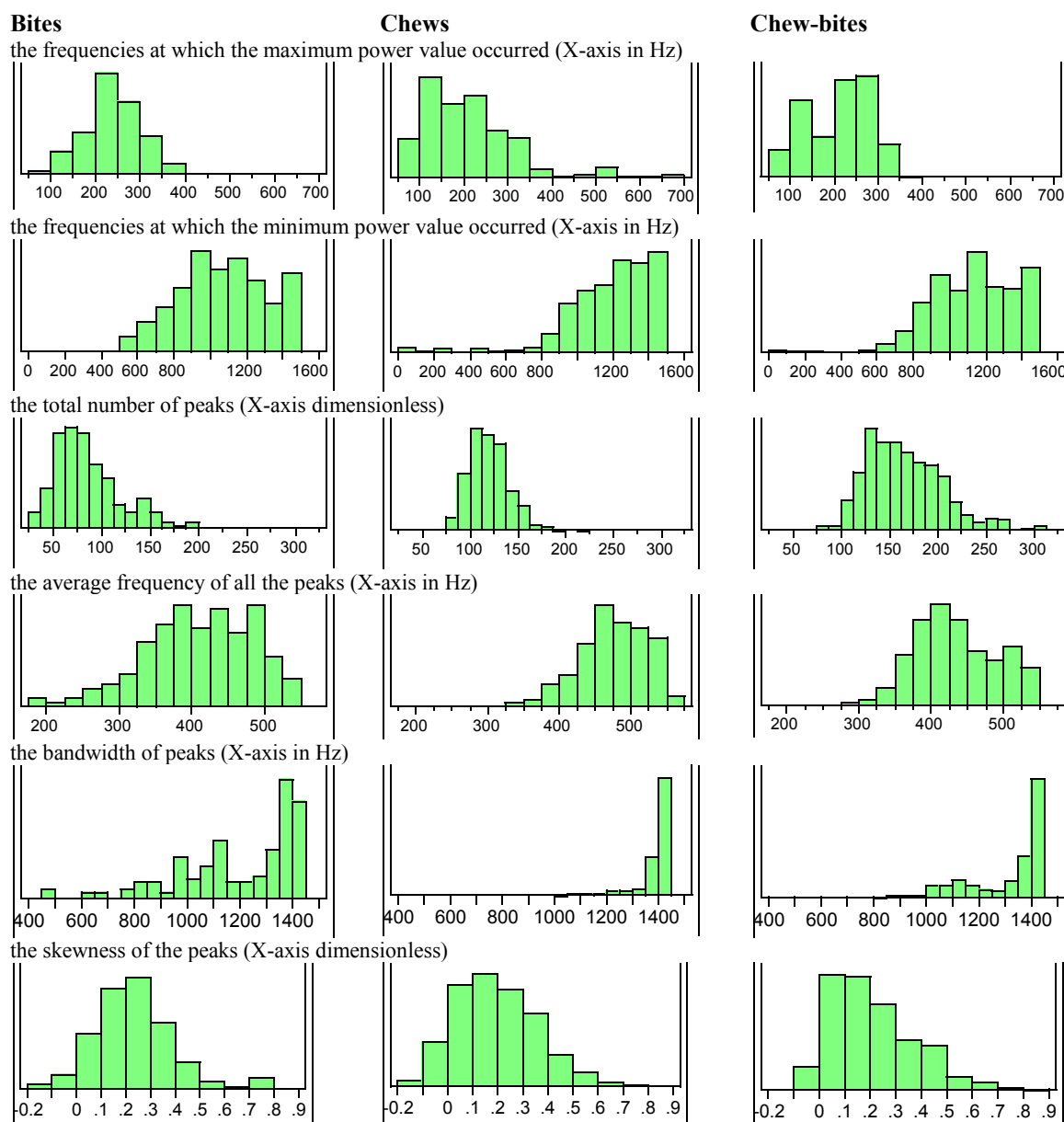
**טבלה 8.** מידת ההתאמה (%) בין זיהוי אירועים (תנועות לסת מייצרי קול) על ידי האלגוריתם שפותח כאן לבין רצף האירועים שזוהה באופן ידני. ראה טקסט להסבר מפורט של הטבלה.

clover56									
threshold	p.4M	p.3M	p.2M	p.1M	p.4E	p.3E	p.2E	p.1E	
0.6	82.02	94.69	97.41	99.59	1.47	2.52	3.51	6.28	
0.5	82.02	94.55	97.28	99.46	1.47	2.66	3.64	6.41	
0.4	81.34	94.01	96.73	98.77	2.29	3.23	4.18	7.05	
0.3	77.38	90.19	93.05	94.82	7.04	7.15	7.83	10.77	
0.2	64.17	75.20	77.79	78.88	22.91	22.58	22.94	25.77	
0.1	11.04	12.67	12.94	13.35	86.74	86.96	87.18	87.44	
clover1923									
threshold	p.4M	p.3M	p.2M	p.1M	p.4E	p.3E	p.2E	p.1E	
0.6	94.53	99.22	99.87	100.00	0.41	0.78	1.03	2.29	
0.5	94.53	99.22	99.87	100.00	0.41	0.78	1.03	2.29	
0.4	94.40	99.22	99.87	100.00	0.55	0.78	1.03	2.29	
0.3	93.88	98.70	99.35	99.61	1.10	1.30	1.55	2.67	
0.2	91.93	96.74	97.40	97.66	3.16	3.26	3.48	4.58	
0.1	78.65	82.68	83.20	83.20	17.15	17.32	17.55	18.70	
clover1950									
threshold	p.4M	p.3M	p.2M	p.1M	p.4E	p.3E	p.2E	p.1E	
0.6	87.62	94.39	98.84	99.81	0.00	0.00	0.97	4.62	
0.5	87.23	94.00	98.65	99.61	0.44	0.41	1.16	4.81	
0.4	86.46	93.23	97.87	99.03	1.32	1.23	1.94	5.36	
0.3	80.27	87.04	91.49	93.23	8.39	7.79	8.33	10.91	
0.2	58.22	64.02	67.31	68.47	33.55	32.17	32.56	34.57	
0.1	9.28	9.86	10.64	10.64	89.40	89.55	89.34	89.83	
grass844									
threshold	p.4M	p.3M	p.2M	p.1M	p.4E	p.3E	p.2E	p.1E	
0.6	91.38	97.63	99.88	100.00	0.41	0.64	2.32	3.85	
0.5	91.25	97.63	99.88	100.00	0.54	0.64	2.32	3.85	
0.4	90.00	96.38	98.63	98.25	1.91	1.91	3.55	5.53	
0.3	82.13	88.25	90.75	90.50	10.49	10.18	11.25	12.98	
0.2	55.88	60.50	62.00	62.13	39.10	38.42	39.36	40.26	
0.1	4.75	5.25	5.50	5.63	94.82	94.66	94.62	94.59	
grass2247									
threshold	p.4M	p.3M	p.2M	p.1M	p.4E	p.3E	p.2E	p.1E	
0.6	85.77	92.70	97.19	99.06	2.35	2.94	4.77	9.73	
0.5	80.90	87.27	90.64	93.26	7.89	8.63	11.19	15.02	
0.4	74.34	79.96	83.90	85.96	15.35	16.27	17.80	21.67	
0.3	55.24	59.55	62.92	65.36	37.10	37.65	38.35	40.44	
0.2	21.54	24.16	26.97	28.84	75.48	74.71	73.58	73.72	
0.1	3.00	3.56	4.12	5.06	96.59	96.27	95.96	95.39	
grass2556									
threshold	p.4M	p.3M	p.2M	p.1M	p.4E	p.3E	p.2E	p.1E	
0.6	85.38	93.52	98.76	100.00	0.32	0.44	0.83	1.63	
0.5	85.24	93.38	98.62	99.86	0.48	0.59	0.97	1.76	
0.4	84.83	92.97	98.21	99.45	0.97	1.03	1.39	2.17	
0.3	81.10	89.10	94.21	95.03	5.31	5.14	5.40	6.51	
0.2	47.45	52.28	55.03	55.72	44.61	44.35	44.74	45.18	
0.1	13.24	15.31	16.14	16.28	84.54	83.70	83.80	83.99	

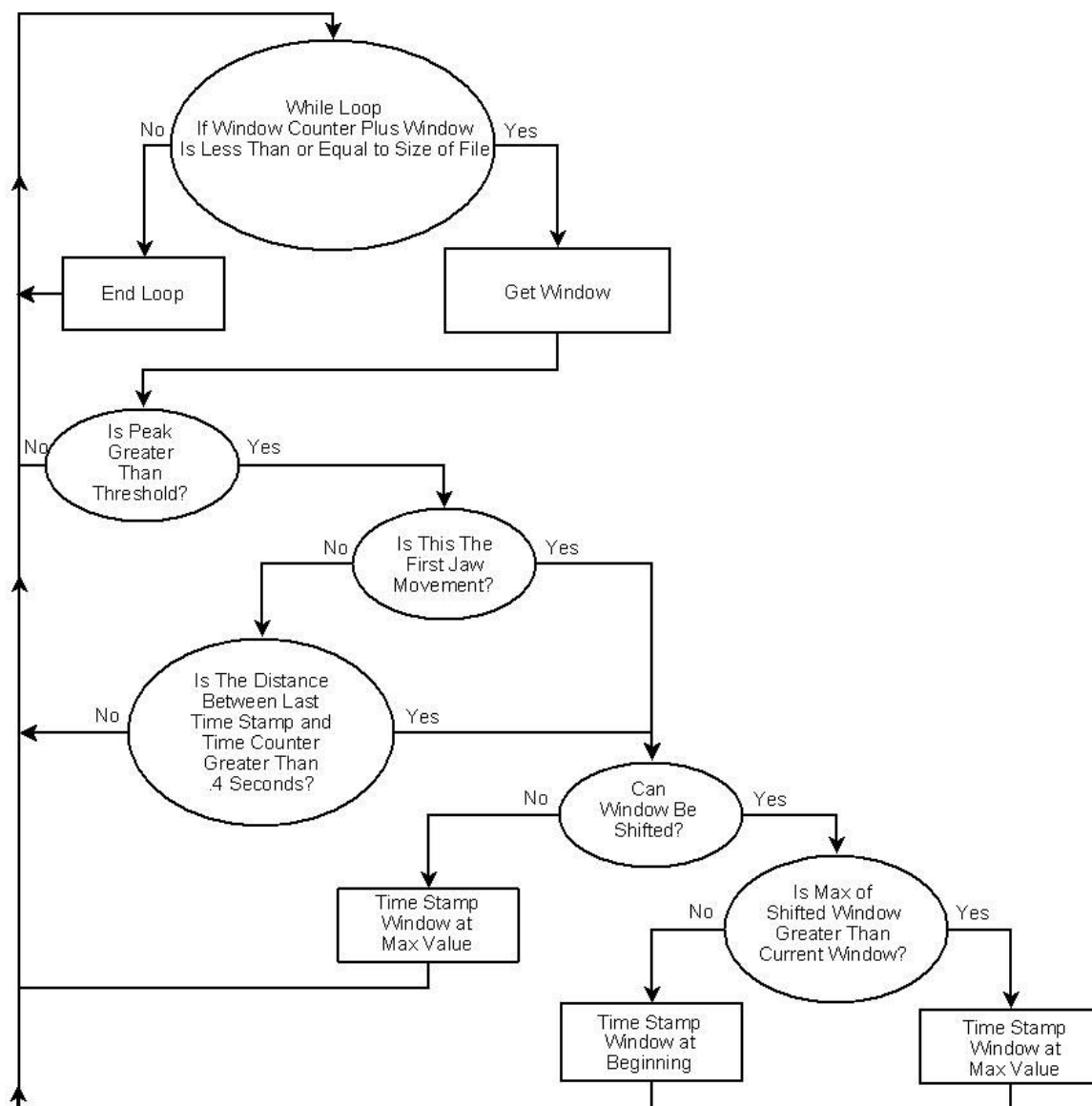


איור 2. פרופיל האנרגיה בהתאם לתדר ( average power spectrum density plot) עבור שלושת הסוגים של תנועת לסת (נגיסה, לעיסה, ולעיסה-נגיסה).

איור 1. הציוד לניטור אקוסטי מותקן על פרה שרועה באספסת.



איור 3. התפלגויות עבור ששת התכונות שהוצאו לכל סוג צליל: נגיסה, לעיסה, לעיסה-נגיסה.



איור 4. תרשים זרימה של התוכנית לזיהוי אירועי קול מתוך הקלטה רציפה של רעייה.



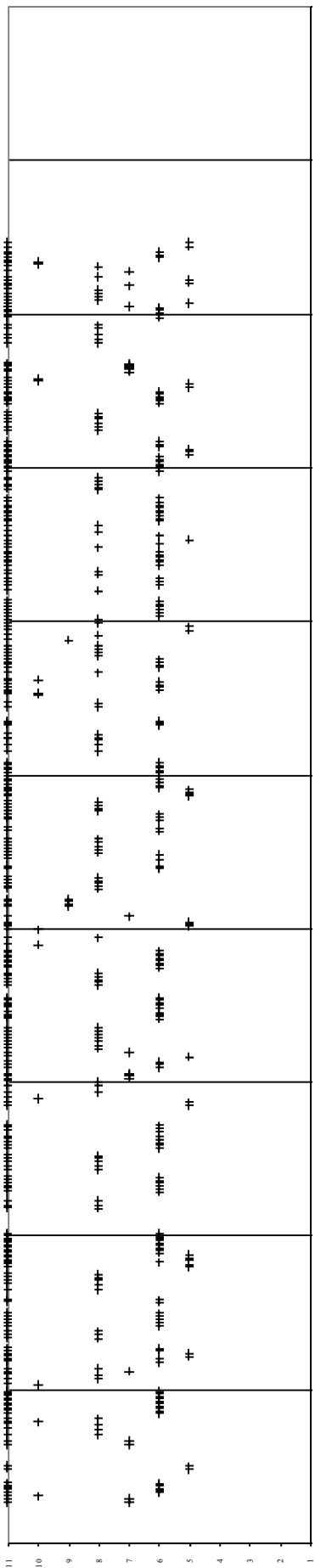
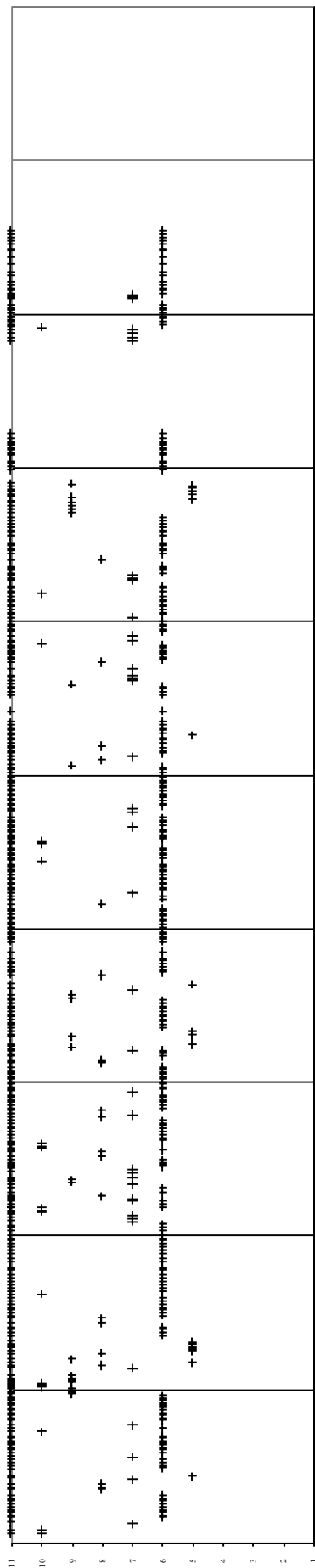
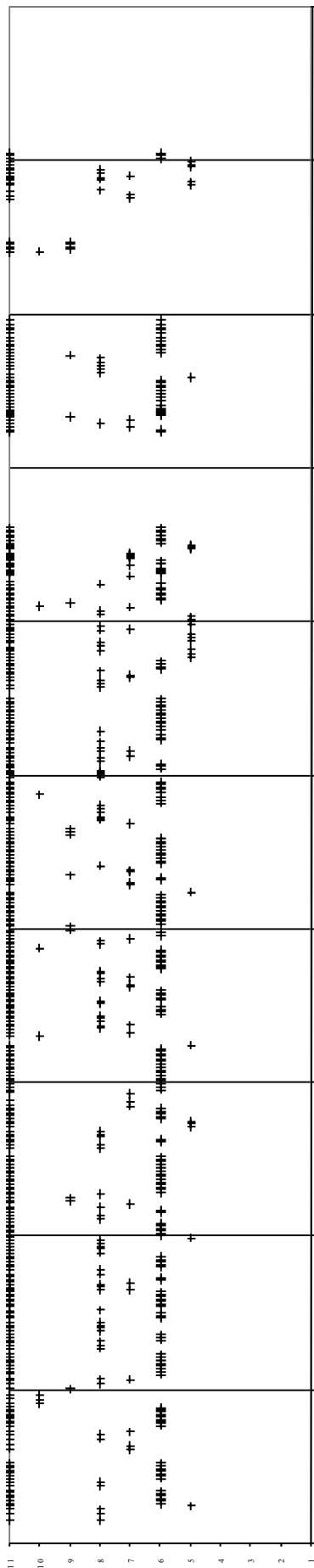
איור 5ב. הציוד לניטור אקוסטי עבור צאן –  
תצורה 2



איור 5א. הציוד לניטור אקוסטי עבור צאן –  
תצורה 1







## סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה. פיתוח האלגוריתמים לעיבוד אות אוטומטי כדי לבנות את הדגם היומי של פעילויות וקצב נגיסה במרעה עשבוני; שדרוג הציוד הפיזי הקיים לחיישן שניתן ליישמו בבקר ובצאן, במרעה, בחורש וביער; פיתוח אלגוריתם לעיבוד אות אקוסטי המסוגל להבחין בין צריכה של צומח עשבוני לצומח מעוצה.

עיקרי הניסויים והתוצאות. על סמך הקלטות של רעית בקר, פותח אלגוריתם לסיווג אוטומטי של קולות בודדים שמבוסס על רשתות עצביות. הושג שיעור סיווג נכון של 90%. פותחה גישה שנייה לסיווג הקולות שמבוססת על שש תכונות שהוצאו מהספקטרום. הושג שיעור סיווג נכון של 82%. פותח אלגוריתם שקולט הקלטה רציפה של רעיה, ומייצר רצף של קטעי קול שכל אחד מהם אמור לכלול צליל מבודד של תנועת לסת. התקבלו תוצאות טובות וזיהינו את צירוף הפרמטרים שמביא לזיהוי רוב הקולות האמיתיים עם מעט קולות שלא זוהו באופן ידני. בנינו מסד נתונים של הקלטות בקר שעברו זיהוי וריצוף ידני של תנועות לסת. בסיכום כללי של כל הניסויים, סווגו 21086 צלילים: לעיסות 44%; נגיסות 19%; לעיסות-נגיסות 37%. הקלטות הושגו עבור כבשים ברעיה, וסווגו 2446 צלילים: לעיסות 65%; נגיסות 29%; לעיסות-נגיסות – זניח. פיתחנו תצורה של ציוד לניטור אקוסטי אצל צאן שמאפשר הקלטה רציפה במשך שעות רבות, אך העיצוב של החומרה טעון שיפור נוסף.

מסקנות מדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדו"ח? הוכחנו את ישימות הרעיון של ניטור התנהגות רעיה באמצעות ניטור אקוסטי. הגישה שנראה לנו מתאימה ביותר מתבססת על חלוקת הבעיה לשני חלקים: זיהוי אירועי קול מתוך פס הקול; סיווג אירועי הקול לסוג תנועת לסת. בשני החלקים האלה הגענו לתוצאות מבטיחות, אם כי הניתוחים מצביעים על כך שיש הבדלים חשובים בין בעלי חיים, וזה בוודאי גורם שעלול להגביל את הדיוק של כל גישה שלא מנסה להתאים את עצמה לפרט. בנוסף, רעש חיצוני התגלה כבעיה חמורה. בניית בסיס נתונים מארכיון ההקלטות היא אבן-דרך חשובה שתשמש לבדיקה ואימות של האלגוריתמים שפותחו עד כה. אספנו הקלטות של רעית עיזים וזה עונה על המטרה להרחיב את היישום של ניטור אקוסטי לצומח מעוצה. בנינו מערכת חדשה שבה מכשיר קטן וקל אוגר את האות האקוסטי, ושיכול לבצע הקלטה רציפה במשך שעות רבות. זו עליית מדרגה לעומת הציוד שעבדנו איתו עד כה.

בעיות שנותרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה: אבחנה בין רעיה בצומח עשבוני לרעיה בצומח מעוצה על סמך האות האקוסטי.

הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: פרסומים בכתב – ראה רשימה בגוף הדו"ח. פטנטים: אין. הרצאות וימי עיון: ראה רשימה בגוף הדו"ח.

פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)