

## ניטור אקוסטי של פעילות זחל הלקטית ורודה לצורך תזמון הדברתו

ויקטוריה סורוקר<sup>1</sup>, אריאלה ניב<sup>2</sup>, אמוץ חצרוני<sup>1</sup> ועמוס מזרח<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>מנהל המחקר החקלאי, <sup>2</sup>מועצת הכותנה.

### תאור הבעיה

הלקטית ורודה היא אחד ממזיקי הכותנה הנפוצים והקשים בארץ ובארצות העולם. מזיק זה תוקף, בעיקר, צמחים ממשפחת החלמיתיים עם עדיפות לכותנה. המזיק פוגע בהלקטים ובזרעים שבתוכם וגם בכפתורים צעירים. הנזק להלקטים הוא משמעותי מבחינה כלכלית ונגיעות קשה יכולה להוביל לאובדן של היבול כולו.

זחל ההלקטית בוקע מהביצה בגודל של 1 מ"מ, חודר להלקט תוך שעותיים מבקיעתו, ואינו משאיר סימנים בולטים על פני ההלקט. הזחלים מוגנים בתוך אברי הצמח, ועובדה זו מורידה את זמינותם להדברה, הן על ידי האויבים הטבעיים, והן על ידי תכשירי הדברה כימיים (Ingram, 1994).

קיימת בעיה חמורה בתזמון ההדברה של ההלקטית הורודה. הריסוסים מכוונים, בעיקר, נגד בוגרים או נגד הזחלים בעת בקיעתם, ואותם קשה לנטר בצורה מדויקת. בעיה נוספת היא פיתוח עמידות לתכשירי ההדברה. הבעיה קיימת לגבי כל המזיקים, וכיום מופנה המאמץ למציאת דרכים לעיכוב ולהאטת התהליך.

בהתאם, מדיניות השימוש בתכשירי ההדברה בכותנה מבוססת על העיקרון של טיפול באוכלוסייה ולא בפרט, כשיחידת ההתייחסות הינה דור של חרקים מזיקים. הרעיון המרכזי הוא חשיפת דור אחד של המזיק, בכל שנה, לקבוצת תכשירי הדברה מסוימת - וכך לאפשר לאוכלוסייתו לאבד, במשך שאר השנה, את תכונות העמידות, שנרכשו בזמן החשיפה המוגבל לקבוצה הכימית המסוימת. בשנים האחרונות ירד מספר הריסוסים בכותנה - בממוצע ארצי - מכ- 16 ריסוסים לכ- 5 ריסוסים.

למימשק הלקטית תקין חשוב לשמור את הנגיעות מתחת לרמות הנזק בעונת הגידול, וכן לצמצם את האוכלוסייה הנכנסת לדיאפאוז. אנחנו מאמינים שביסוד מימשק יעיל עומד ניטור אמין של המזיק, שעל פיו ניתן לקבוע רמות סף, ולהגיע לתזמון הדברה יעיל. קיימות בעולם מספר שיטות לניטור האוכלוסיות של ההלקטית: ניטור הלקטים נגועים בזחלים, ניטור ביצים על הלקטים, וניטור הזכרים הבוגרים באמצעות מלכודות פרומונים. למרות ששיטת הניטור של הזכרים באמצעות מלכודות פרומון הינה נוחה ליישום, והביאה לשיפור רב בשנות הששים והשבעים ביחס לריסוסים פרופילקטיים, היא נותנת בעיקרה אומדן איכותי, הואיל והיא מבוססת על סדרת הנחות והשערות לא מדויקות. לדוגמה: רמת הלכידה של העשים הזכרים מעידה על רמת אוכלוסיית הנקבות; הלכידה אינה מושפעת מתנאי מזג האוויר - ובעיקר הרוח; גל הטלה בא בעקבות גל בלכידת זכרים; שיעור בקיעת הזחלים אחיד; חדירת הזחלים להלקטים אחידה, ועוד. עבודה רבה הושקעה בחיפוש מיתאם בין הלכידות לנגיעות - אך מיתאם כזה לא נמצא, ובאף מדינה בעולם לא משתמשים בשיטה זאת לניטור. סיבה נוספת נגד יישום שיטה זאת לניטור, היא התבססותה של הדברת ההלקטית הורודה על שיטת ה"בלבול" בפרומונים. השנה יושמה שיטת ה"בלבול", בארץ, בכ-90% משטחי הכותנה.

Hutchison et al., ) בשדה (1988). ההלקטים נבדקים חיזונית (ללא פתיחה), לנוכחות ביצים. זוהי שיטה פשוטה, קרובה, על ציר הזמן, הן להימצאות הבוגרים בשטח, והן לעיתוי הנגיעות הפיסית בהלקטים. מגרעותיה העיקריות הן הצורך במיומנות וכמות העבודה הדרושה לביצועה.

השיטה הנפוצה ביותר בעולם, ולמעשה משמשת לניטור ולקבלת החלטות הדברה בכל הארצות מגדלות הכותנה, (חוץ מבישראל), היא שיטת ניטור הזחלים באמצעות פתיחה של הלקטים. שיטה זו מאוחרת מבחינת המימשק, אך ניתן לשפרה. בשיטת ניטור זו בודקים הלקטים לנוכחות בקיעות וזחלים, מתוך הנחה שהאילוח נעשה בצורה מחזורית ואם "תופסים" את גל האילוח מוקדם - עדיין אפשר לפגוע ברוב אוכלוסיית המזיק שהיא עדיין מחוץ להלקט (עשים וביצים). בשיטה זו נותנים בד"כ ריסוס נוסף לאחר כשבוע לשם "קטיעת" גל ההטלה. ניתן להשתמש בשיטת ניטור זו בישראל גם בתנאי "בלבול" וגם ללא "בלבול", כאמצעי משלים. המגרעות העיקריות של שיטה זו הן השקעת הזמן הדרושה ליישומה, הצורך במיומנות גבוהה לזיהוי הזחלים הקטנים והסיכון לאחור בעיתוי הגילוי.

אנו משערים שניתן לשכלל את שיטת ניטור הזחלים תוך ניצול קולות הכרסום שלהם, ללא צורך בפגיעת ההלקט. השיטה המוצעת מתבססת על זיהוי קולות הכרסום של הזחלים. מכשיר שפותח בארה"ב (Hickling et al., 1994), היה אמור לאפשר זיהוי קולות הכרסום של זחלים. לצערנו מכשיר זה קולט רעשי רקע רבים ואינו מאפשר קבלת אות ברור. לאחרונה הגיע לארץ מכשיר נייד חדש (Larven Lausher, NIR service W. Weinard). מכשיר זה רגיש מאוד לקולות חרקים ובניסויים ראשוניים הוקלטו באמצעותו קולות הכרסום של זחלי ההלקטית הורודה. המטרה הכללית של המחקר היא לשכלל את שיטת ניטור הזחלים תוך פיתוח שיטה אקוסטית לזיהוי ההלקטים הנגועים, בלי לפגוע בשלמותם.

מטרות המשנה הם :

- א. תיעוד שלבי החדירה של הזחל לתוך ההלקט.
  - ב. הבחנה אקוסטית בין דרגות שונות של הזחל וואו בין עמקי חדירה שונים.
  - ג. פיתוח מערכת זיהוי אותות כרסום של זחל וורוד.
- אנו שואפים לפיתוח מכשיר שהפעלתו אינה דורשת מיומנות רבה.

### שיטות המחקר

#### **א. הבחנה בשלבי החדירה של זחלים להלקטים :**

ביצים של הלקטית ורודה הודבקו על הלקטי פימה ואקלה קטופים. ההלקטים הוחזקו במים בתוך כלי פלסטיק בחדר מבוקר טמפרטורה ופוטופריודה ( $25^{\circ}\text{C}$ , 14 שעות אור ו-10 שעות חושך, אלא אם צויין אחרת). מידי יומיים נלקחו כ- 3-4 הלקטים ונפתחו. נבדק מקום המצאות הזחלים בהלקטים ודרגתם. פעולה זו נמשכה עד שהזחלים החלו לצאת מההלקטים ולהתגלם (סוף שלב הזחל). השפעת טמפרטורה על משך התפתחות והתפלגות הזחלים בהלקטים נבחנה בניסוי בו גודלו הזחלים בשלוש טמפרטורות: 20, 25, ו-30.

#### **ב. הקלטה של זחלים בתוך הלקטים :**

ביצים של הלקטית ורודה הודבקו על הלקטים קטופים והוחזקו כפי שתואר בסעיף קודם. מידי יומיים נדגמו כ- 5 הלקטים. ההלקטים חוממו באמבט מים בטמפרטורה  $47^{\circ}\text{C}$  למשך 4 דקות.

לאחר החימום הוכנס כל הלקט לתוך קופסת פלסטיק מרופדת בספוג ובה מיקרופון של המכשיר הגרמני, "Larven Lausher", להקלטה של קולות הפעילות של הזחלים בהלקט. פעילות הזחלים בתוך ההלקט הוקלטה במשך כ- 30 שניות על ידי מקלט דיגיטלי Sony TCD-D100. לאחר ההקלטה הוצאו הזחלים מתוך ההלקט, וכמו בשלב מדידת קצב הגידול, נבדק מקום המצאות הזחלים בהלקט, ונמדד רוחב קופסית הראש. פעילות הזחלים בהלקט הוקלטה גם בהלקטים שלא חוממו מראש, וכן נעשתה הקלטה להלקטים לא נגועים. סה"כ נאספו 68 הקלטות.

### ג. ניתוח הקלטות של פעילות זחלים .

למציאת תדרים אופייניים נערך ניתוח ספקטרלי של קטעי קול במישורי התדר והזמן לזיהוי חתימה ספקטרלית, ונבחנו שיטות דיסקרימינציה של קטעי קול על ידי קורלציה של קול אפייני בחלון שנע במישור הזמן.

### תוצאות:

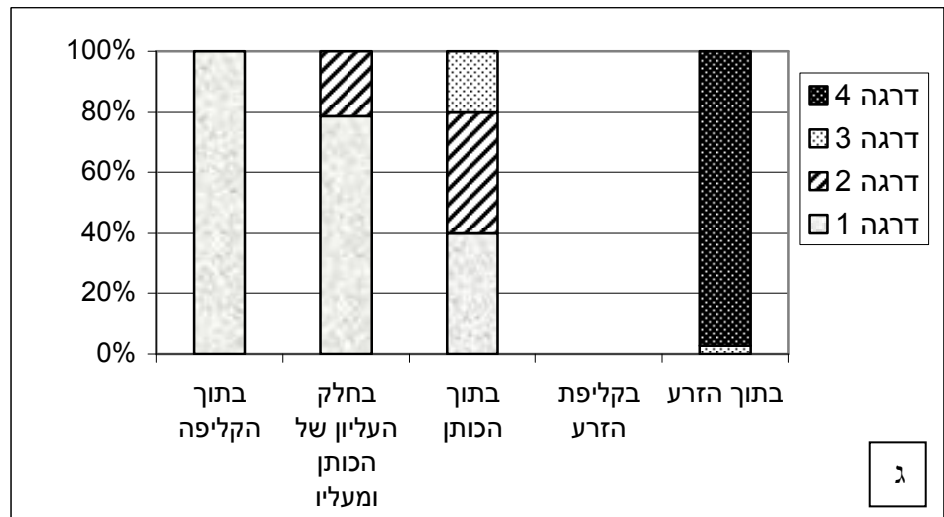
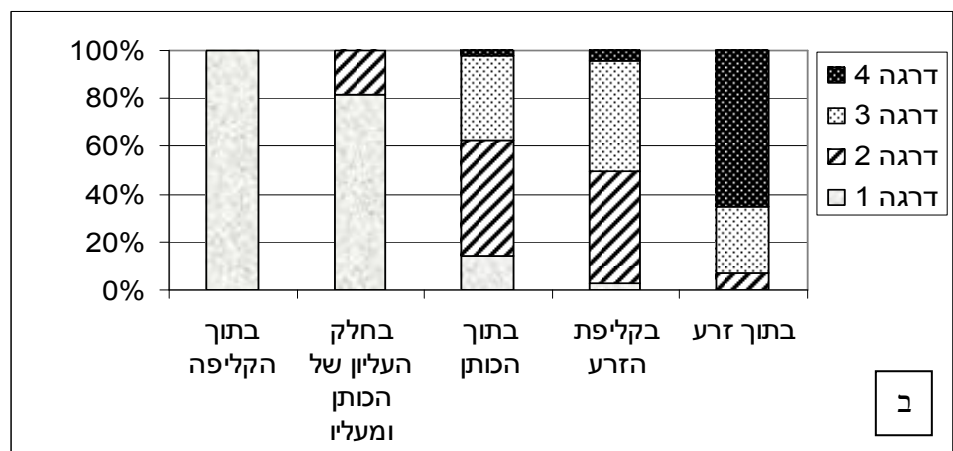
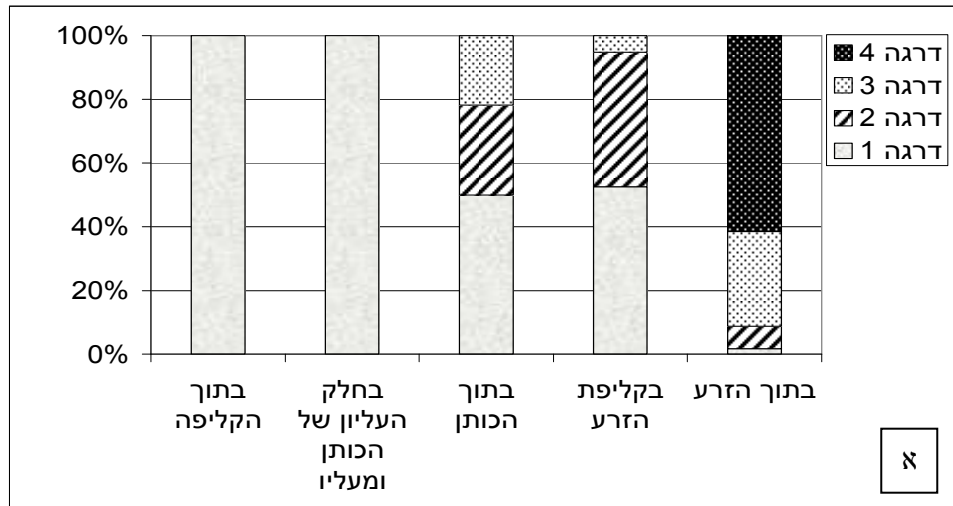
#### מעקב אחר מיקום הזחלים המתפתחים :

השוואת התפתחות הזחלים בהלקטים משני מיני הכותנה (טבלה מס' 1) מראה שמשך התפתחות הזחלים היה תלוי באופן ישיר בטמפרטורה אך זהה בהלקטים מהמינים השונים. בטמפרטורה 30 מעלות משך ההתפתחות היה כמחצית מזה שב-20 מעלות.

טבלה 1 : השפעת טמפ' על משך התפתחות הזחלים בהלקטי פימה ואקלה.

פימה	אקלה	טמפרטורה ב- °C
23	23	20
15-13	לא נבדק	25
12	12	30

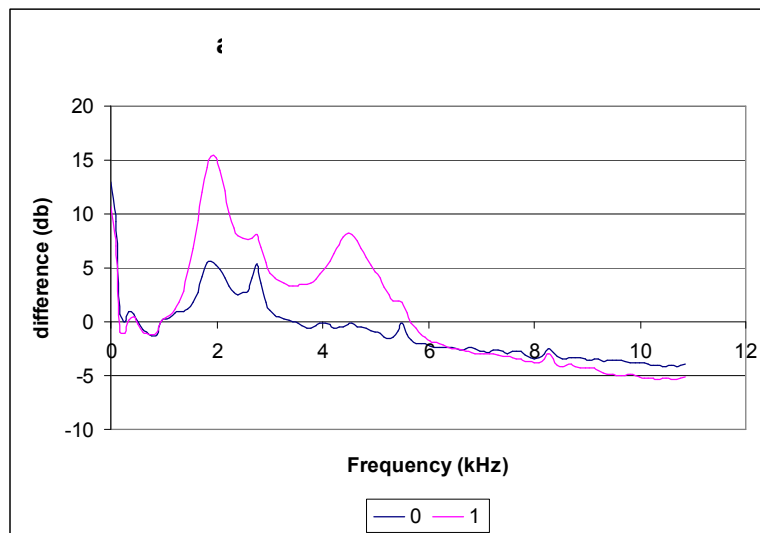
באיור 1 מוצג מיקום הזחלים באזורים שונים בהלקט לפי דרגת הזחל, כפי שנמצא בהלקטי פימה ב-25 מעלות, ובהלקטי אקלה ופימה ב-20 וב-30 מעלות. דרגת הזחל נקבעה לפי רוחב קופסית הראש של הזחל (ראה דו"ח 2001). קיימת אפשרות שמיקום הזחל בהלקט יהיה תלוי בטמפרטורה, בדרגת הזחל ו/או במצב ההלקט. פיזור הזחלים בהלקט היה דומה בשני מיני הכותנה לפי כך אוחדו התוצאות משני סוגי ההלקטים. כפי שרואים באיור 1 מיקום הזחל אינו תלוי בדרגה אך כן תלוי בטמפרטורה. בטמפרטורה 20 מעלות כניסת הזחלים לזרעים מתרחשת כבר בדרגה השנייה של הזחל בעוד בטמפרטורה של 30 מעלות דרגה זאת מגיעה רק לכותן. הדרגה השלישית נמצאה בעומק הכותן ובזרעים בכל הטמפרטורות, והדרגה הרביעית נמצאה בזרעים בלבד. ממצא זה יכול להיות מוסבר על ידי הבדלים במשך הזמן של הדרגות בטמפרטורות השונות. משך הדרגות 1 ו-2 ב-20 מעלות הוא 15 ימים באקלה ו-12 בפימה; ב-25 מעלות, 7 ימים בשני המינים, וב-30 מעלות, 6 ימים בשני המינים. לפיכך נראה כי בטמפרטורת הסביבה הנמוכה לזחל הצעיר יש יותר זמן לחדירה למעמקי ההלקט בעוד בטמפרטורות הגבוהות עקב ההתפתחות המהירה הם אינם מספיקים להגיע לזרעים. בהמשך חשוב להתחשב בגורמים המשפיעים על חדירת הזחלים.



איור 1: מיקום הזחלים בהלקט לפי דרגה. א. 20 מעלות ב. 25 מעלות. ג. 30 מעלות.

## ניתוח הקלטות של פעילות זחלים:

הקלטות ההלקטית הועברו למחשב באמצעות חיבור ישיר של מכשיר ההקלטה לכרטיס הקול. הקולות נדגמו באמצעות תכנת Audio Editor, ver 5.02, Ulead system Inc. בהפרדה של 8 bit בתדירות של 44.1 kHz, בשני ערוצים (סטריאו) ונשמרו כקבצים בפורמט .wav. דגימת האותות ועיבוד ראשוני נעשו על ידי תכנה בסביבת הפיתוח של Matlab ver 6.1. התוכנה שפותחה מאפשרת את קריאת הקבצים, הצגתם, בחירת אזורי עניין, וניתוח ספקטראלי של אזורים אלו באמצעות התמרת פורייה מהירה (FFT). ניתוח זה מייצר רשימה של עצמת הקול בכל אחד מהתדרים שנקבעו. העצמה נמדדה ביחידות של דציבלים (db) (איור 2).



איור 2. התפלגות תדרים מנורמלת של קולות הנובעים מפעילות כרסום של זחלים בתוך הלקט (גרף עליון) וקולות רקע (גרף תחתון).

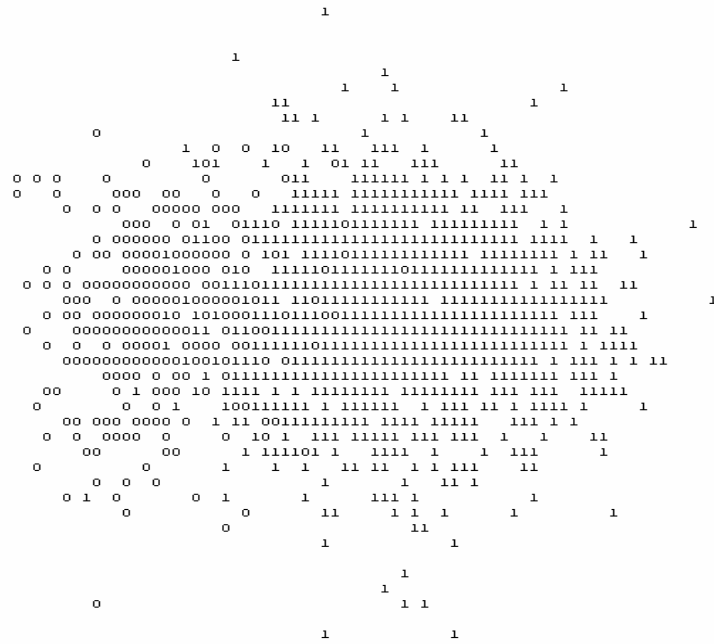
בעבודה זאת הוקלטו קולות של פעילות זחלים בדרגות שונות מכ-60 הלקטים וקולות רקע מהלקטים ללא זחלים. הקטעים שנלקחו היו באורך של 1024 דגימות. כל קטע סומן כמכיל קולות של פעילות או ללא פעילות. כל קטע עבר טרנספורמציה למישור התדר בהתמרת FFT בהפרדה של 256 תדרים. התוצר של כל התמרה הוא רשימה של עצמת האות בכל אחד מהתדרים (סה"כ 127 תדרים שהם חצי מהפרדת FFT עקב סימטריות). המשך העיבוד נעשה לאחר חישוב היחס בין עצמת האות בין כל אחד מהתדרים לעצמת האות שנמצאה בתדר של 0.95 קילוהרץ. בסך הכול נצברו 2426 רשומות שכללו 458 רשומות ללא קול של זחל, ו-1968 רשומות עם קולות זחלים. משך הצליל המזוהה עם פעילות הזחל הוא בין 2-4 מילישניות. לצורך זיהוי פעילות הזחל בכל אחד מהקטעים נערכה אנליזה של התכנות ובחירת פרמטרים (תדרים) שיאפשרו הפרדה בין קבוצות הקול. לצורך זה נעשה שימוש פרוצדורת Stepdisc בתכנת SAS. תוצאות האנליזה דרגו את תרומת התדרים השונים להבחנה בין קטעי קול שמכילים פעילות לבין קטעים ללא פעילות. לצורך ניתוח זה הוצאו מטיפול קבצי קול שהיו משובשים (אלו כללו את הקלטות זחלים 2, 4, 6, 7, 9) בהמשך נעשה שימוש במגוון תדרים מתוך רשימה של תדרים בעלי משמעות לצורך הפרדה

לפי נוכחות/היעדרות זחל. שלושת התדרים הראשונים שנמצאו משמעותיים היו, לפי סדר חשיבותם: 2.0; 4.5 ו-6.9 KHz. ביקורת על מסקנה זאת נעשה באמצעות ניתוח לצמצום פרמטרים (Canonical discriminant analysis). האנליזה הצביעה על התכנות להפרדה מלאה כבר עם שימוש בצירוף הליניארי הראשון של שלשת התדרים הנ"ל (איור 3). אנליזה בשיטה של הצלבת אימות בפונקצית הפרדה ליניארית (Cross validation) נערכה באמצעות פרוצדורת Discrim של תכנת SAS. בשיטה זאת נבדק מיון כל אחד מקטעי הקול מול פונקצית מיון שמיוצרת על ידי כל הנתונים האחרים. ההבדלים בין שימוש ב-3 או 14 תדרים לא נמצאו משמעותיים (טבלה 2).

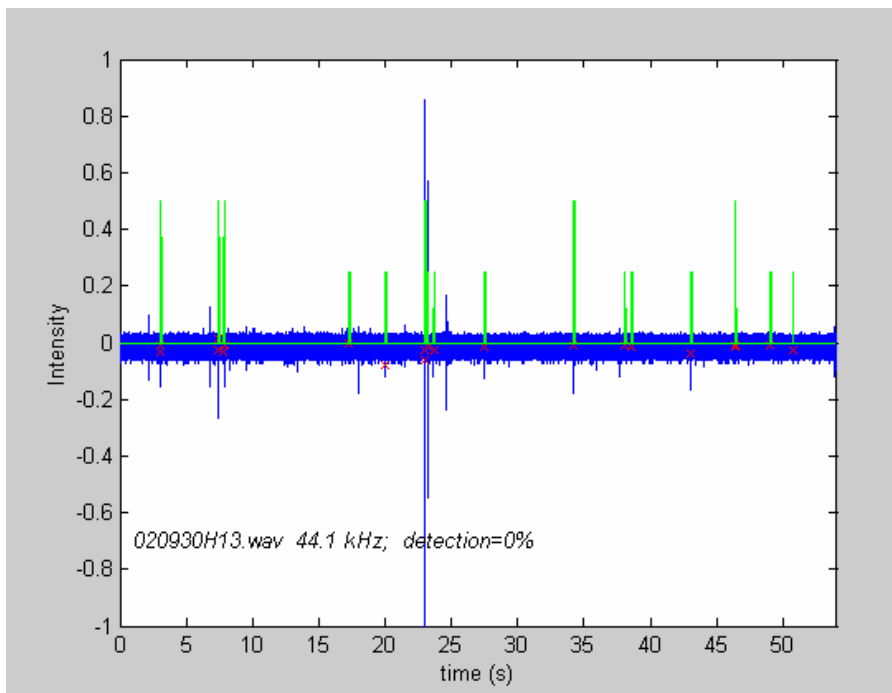
פותח מודל הפרדה שמתבסס על העיקרון של quadratic discrimination error (Johnson 1992). מודל זה משתמש בבסיס הנתונים שתואר לעיל ומייצר תבנית מרחבית רב ממדית של קבוצות הקול, במקרה זה נוכחות / היעדרות זחל. הקלטות חדשות נבחנות מול מודל הפרדה זה. לצורך זה מחולקת ההקלטה החדשה לקטעים באורך של 1024 דגימות. על כל קטע מופעלת טרנספורמציה FFT. התדרים שנבחרו להפרדה מושווים לתבנית על פי מודל ההפרדה – והקטע מזוהה כמכיל פעילות זחל, או לא. בשלב זה של העבודה מסומנים על גבי ההקלטה המקורית הנקודות בהן זוהתה פעילות זחל, ובחינת אפקטיביות מודל הזיהוי נעשה באופן ויזואלי (איור 4).

**טבלה 2. שגיאת מיון בין קולות עם ובלי נוכחות זחל (קדימויות: 0.05 לנוכחות זחל; 0.95 ללא זחל).**

דרגת הזחל	שגיאת מיון (3 תדרים) %
1	4
2	3
3	3
4	2
ערך משוקלל	2



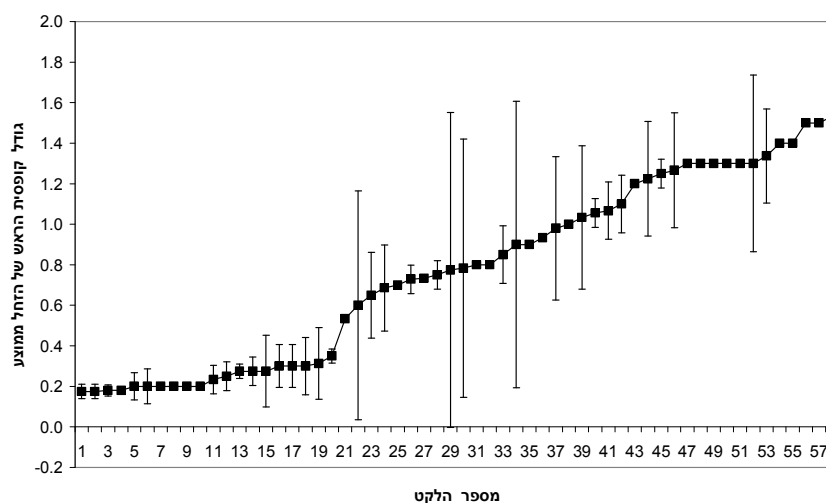
איור 3. היתכנות הפרדה באמצעות ניתוח תדרי קול עם (1) וללא (0) נוכחות זחלים. מוצגת הטלה דו-ממדית (הפחתת פרמטרים) של מרחב עם 14 תדרים.



איור 4. זיהוי פעילות זחל הלקטית ורודה באמצעות מודל הפרדה סטטיסטי רב ממדי. כחול – אות מקורי; צלב זיהוי פעילות

אחת הבעיות הקשות שנתקלנו בהם במציאת קשר בין דרגת התפתחות הזחל לבין דגם האקוסטי הנה העובדה כי בהלקטים היו מספר זחלים (9-1 פרטים), וגודלם לא היה אחיד. שונות בגודל

הזחלים בהלקטים מודגמת באיור 5. הדבר נבע, כנראה, מזיהום של חלק מההלקטים טרם תחילת הניסוי.



איור 5. מגוון בגדלי הזחלים בהלקטים השונים.

## סיכום

### הישגים בתקופה זאת:

1. אפיון המיקום של זחלים בתוך ההלקט, בדרגות השונות ובתנאי טמפרטורה שונים.
2. פיתוח מודל סטטיסטי לניתוח קולות כרסום ההלקטית.
3. פיתוח מודל סטטיסטי לזיהוי תבנית במרחב רב מימדי המורכב משני רכיבים עיקריים: למידה וניתוח קולות כרסום ורעשי רקע בזמן אמת.

### עבודת המשך תכלול:

1. המשך חקר השונות בקולות הזחלים מגדלים שונים.
2. בחינת שינויים צירקדיים בפעילות הזחל.
3. פיתוח כלים לעבודה בזמן אמיתי, כלומר ניטור פעילות הזחל תוך כדי הקלטה של אותות מההלקט, או תוך השמעת ההקלטה למחשב.
4. פיתוח אבטיפוס נייד לזיהוי פעילות, שכולל פיתוח האלקטרוניקה ותא המדידה.



- Hickling, R., Lee, P., Wei, W., Geyer, MW., Pierce, D., Staten, R., Henneberry T.,(1994). Multiple acoustic sensor system for detecting bollworm in bolls. Beltwide Cotton Conference, 1134.
- Hutchison, WD., Butler, GD., Martin, JM. (1986). Age-specific development times for pink bollworm (Lepidoptera: Gelechiidae): Three age classes of eggs, five larval instars, and pupae. Ann. Entomol.Soc. Am. 79: 482-487.
- Hutchison, WD., Beasley, CA., Henneberry T.,(1988). Sampling pink bollworm (Lepidoptera: Gelechiidae) Eggs: Potential for improved timing and reduced use of insecticides. J. Econ. Entomol. 81: 673-678.
- Ingram, WR. (1994) In: Insect pests of cotton. Ed. GA. Mathews and JP. Tunstall CAB. Int. Wallingford Oxon. OX108DE. Pp. 107-149.
- Johnson, R.A., Wichern D.W. (1992) *Applied multivariate statistical analysis*. Prentice Hall.