

1. דוח מסכם לתכנית מחקר מס' 12-0551-458

בנושא:

פיתוח מערכת אוטומציה נבונה למיון ואריזת עירית טרייה להגדלת הפריין וחסכון בידיים עובדות.

Development of smart automated system for sorting and packing fresh chives in order to save manual labor and increasing efficiency.

מוגש למדען ראשי משרד החקלאות על ידי:

זאב שמילוביץ\*<sup>1</sup>, אביטל בכר<sup>1</sup>, ויקטור אלחנתי<sup>1</sup>\*\*, דוד קניגסבוך<sup>2</sup>, בני רונן<sup>1</sup> ויאצ'סלב אוסטרובסקי<sup>1</sup>, גיא לידור<sup>1</sup>, רפי רגב<sup>1</sup>, אהרון הופמן<sup>1</sup> וחיים אגוזי<sup>1</sup>. - מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני

\* Ze'ev Schmilovitch [veshmilo@volcani.agri.gov.il](mailto:veshmilo@volcani.agri.gov.il)

\*\* Victor Alchanatis [victor@volcani.agri.gov.il](mailto:victor@volcani.agri.gov.il)

<sup>1</sup>) ARO, The Volcani center, Institute of Agricultural Engineering. POBox 6, Bet Dagan, 50250, Israel.

<sup>2</sup>) ARO, The Volcani center, Institute of Postharvest and Food Sciences. POBox 6, Bet Dagan, 50250, Israel.

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא



חתימת החוקר

רשימת פרסומים

## 2. תוכן עניינים

2	תקציר	3.
3	מבוא ותאור הבעיה	4.
5	פירוט עיקרי הניסויים במהלך תקופת הדו"ח	5.
12	דו"ח משלים לתכנית מחקר מס' 12-0551-458	5.1
12	מבוא	5.1.1
12	קציר	5.1.2
12	מיון	5.1.3
12	סינגולציה	5.1.4
13	סיכום	5.1.5
17	מקורות	6.
18	סיכום עם שאלות מנחות	7.

## 3. תקציר

ייצוא תבלינים טריים הינו אחד הענפים המובילים בייצוא ירקות מישראל. ענף התבלינים כולל כ-30 סוגי תבלינים שונים הגדלים בשטח פתוח וחממות ענף התבלינים הינו עתיר ידיים עובדות בכל שלבי הגידול ובעיקר בשלבי הקטיף, המיון והאריזה. הערכות על עלויות כוח האדם עומדות על מעל ל-50% מעלויות הגידול. גידול העירית בארץ היבול השנתי לדונם מסתכם בכ-2 טון. בשלבי הייצור של עירית המהווה חלק עיקרי בייצור וייצוא תבלינים העבודה מתבצעת באופן ידני לחלוטין ללא כל מיכון או אוטומציה. כיום העירית נקצרת בסכין לאגדים של כ-200 גרם אשר מטופלים בבית האריזה באופן ידני תוך שמירת מבנה האגד. מיכון תהליך הייצור באמצעים פשוטים הינו מסובך בשל השוני באיכות העירית בין חלקות שונות, משקים שונים ועונות שונות. למיטב ידיעתנו פיתוח מיכון זה לא הגיע ליישום מסחרי. המחקר הנוכחי הינו בעל ראייה מערכתית בנוסף לראייה הנקודתית בשל הקשר ההדוק בין שלב הקציר לשלבי המיון והאריזה. המערכת שתפותח תהיה מערכת אוטומציה נבונה משולבת ראייה ממוחשבת לטיפול בעירית שנקצרה, חיתוכה ומיונה בהתאם לאריזה שנקבעה. ההזנה למערכת בבית האריזה תבוצע על ידי הזנת אריזת ביניים. מטרת המחקר למצוא פתרון משולב מערכתי לכל תהליך הטיפול בעירית שיאפשר מיכון ואוטומציה באופן סינרגטי מהקטיף ועד לאריזה. בשנה הראשונה הוגדרו שלבי העבודה, איסוף נתונים על המצב הקיים במשקים, איתור צווארי בקבוק ונקודות קריטיות בתהליך הקציר והמיון. איפיון הפרמטרים החשובים לשלבי המיון והאריזה, נבנו ונוסו אבי טיפוס בסיסיים לקציר ואסיף עירית. פותחה שיטה לסינגולציה של עירית לקראת מיון באמצעות ראייה ממוחשבת וחיתוך לגודל סופי. פותחה ונבנתה מערכת ניסיונית לקציר ולהרמת העירית. המערכת עברה מספר שלבים של פיתוח וניסויים בשטח כולל הדגמה לחקלאים ולחברה מסחרית. תוכנן אב טיפוס ומתקיים מו"מ להמשך שת"פ ליישום הפיתוח הזה. נבנתה מערכת ניסיונית עם סרט דק מנוקב בנקבים של 2-3 מ"מ נע בצמוד לתא ואקום על פני חריץ נמצא שמחד הכוחות הנוצרים על הסרט הם גדולים ויש קושי מאידך לשמור על מתוחות כאש המערכת הינה בקו ישר לכן תוכננה ונבנתה מערכת חדשה המבוססת על קו יניקה קשתי ומערכת זו נוסתה ונמצאה כמבטיחה להמשך הפיתוח. מערכת זו עברה את שלבי תיכון הנדסי אך לאור הסיבוכים שנתגלו בביצוע כמו גם מספר מכשלות שאותרו בשלב זה הוחלט לא לבנותה בהמשך. לצרכי מיון על פי ראייה ממוחשבת נערכו צילומים של עירית במצבים שונים ופותח אבטיפוס של אלגוריתם המסוגל לזהות עירית בודדת או כפולה ועירית בריאה או פגועה. נבנה אבטיפוס ראשוני למסוע סרט כחול עם תאים משניים לבחינת ביצועי מצלמות מיון פשוטות ונמצא כמתאים. בתוספת הזמן ללא תקצוב נמשכה העבודה ובה פותחו תיכון מפורט למקצרה, מנגנון קוצב לארגז קבלה מהמקצרה, מנגנון פיות וואקום אוטומטי, פיות סילוק פניאומטיות, תוכנת בקר לשליטה על המערכות

העתידיות. בוצעו ניסויים לבחינת הנ"ל באתרים הבאים: קיבוץ קליה, המכון להנדסה חקלאית. תהליך הפיתוח הסתיים ברבעון השלישי 2015 ובשלב זה המשך עתיד העבודה לוט בערפל של לאור התחושה שאין דורש למערכת עתידית לא כל שכן יצרן מסחרי.

#### 4. מבוא ותאור הבעיה

תהליכי עבודה בגידולים חקלאיים דורשים כוח אדם רב אשר אינו בנמצא ועלותו הולכת וגדלה. הצורך בידיים עובדות נובע מאופי העבודה והטיפול בחומר ביולוגי כגון פירות, ירקות או פרחים אשר אינם אחידים ומצריכים טיפול אינדיבידואלי בכל פרט. מרכיב כוח האדם מהווה היום את צוואר הבקבוק במשקים החקלאיים. המחסור הקיים בידיים עובדות גורם בשלב ראשון לפגיעה בתפוקת המשק, ברמת התחזוקה ואחזקת המשק ופגיעה בביצוע פעולות משניות כגון ניקיון. תופעות אלה פוגעות באיכות התוצרת המשווקת, מגדילות את הסיכוי למחלות וגורמות לנזקים ועלות תיקון גבוהה יותר בעתיד הנובעים מקלקול והזנחה. במקרים קיצוניים המגדלים אף אינם קוטפים ומשווקים את כל התוצרת שהשקיעו בגידולה. החוסר בעובדים ואי היכולת לחזות או לתכנן את מצבת העובדים העתידית מונע מהמגדלים בחלק מהמקרים להתפתח ולגדל על שטחים נוספים. אחד הפתרונות הינו פיתוח מערכות אוטומציה נבונות.

ענף התבלינים התפתח בצורה נרחבת בשנים האחרונות. ייצוא תבלינים טריים הינו אחד הענפים המובילים בייצוא ירקות מישראל. ענף התבלינים כולל כ-30 סוגי תבלינים בשטח פתוח וחממות. היבול השנתי לדונם מסתכם ב-1 עד 6 טון מהתאם לסוג הגידול ותנאי הגידול. ענף התבלינים הינו עתיר ידיים עובדות בכל שלבי הגידול ובעיקר בשלבי הקטיף, המיון והאריזה. הערכות על עלויות כוח האדם עומדות על מעל ל-50% מעלויות הגידול. מערכי הקטיף, המיון והאריזה (קמ"א) הוקמו ללא תכנון מקדים על פי שיטות הנדסת תעשייה והינם עתירי ידיים עובדות. מרבית בתי האריזה הוקמו על בסיס פלטפורמות ומבנים שהיו קיימים ושימשו לצרכים אחרים כגון רפתות ומחסנים. בנוסף קיים שוני רב בין המשקים השונים בשיטות העבודה ויעילותם. בגידול עירית בארץ משתרע היבול השנתי לדונם מסתכם בכ-2 טון. בשלבי הייצור של עירית המהווה חלק עיקרי בייצור וייצוא תבלינים העבודה מתבצעת באופן ידני לחלוטין ללא כל מיכון או אוטומציה. כיום העירית נקצרת בסכין לאגדים של כ-200 גרם אשר מטופלים בבית האריזה באופן ידני תוך שמירת מבנה האגד. במחקר מקדים [1] נמצא כי תפוקת הקטיף עומדת על כ-25 ק"ג לשעה לעובד בממוצע ותפוקת המיון והאריזה הינה כ-2.5 ק"ג לשעה לעובד בממוצע. מיכון תהליך הייצור באמצעים פשוטים הינו מסובך בשל השוני באיכות העירית בין חלקות שונות, משקים שונים ועונות שונות. בשנים האחרונות בוצעו מספר פרויקטים לפיתוח מיכון לקציר עירית כמו גם למיון ואגידה. מיכון זה לא הגיע ליישום מסחרי ויש ככל הידוע לנו גם בשלב הפיתוח מספר חסרונות בראיה המערכתית של הנושא. המחקר המוצע הינו בעל ראיה מערכתית בנוסף לראיה הנקודתית בשל הקשר ההדוק בין שלב הקציר לשלבי המיון והאריזה. חיסכון בידיים עובדות והעלאת היקף ייצור המשקים עד לפוטנציאל השיווק המלא יתאפשר על ידי פיתוח מערכת מיון ואריזה לבית האריזה. המערכת שתפותח תהיה מערכת אוטומציה נבונה משולבת ראיה ממוחשבת לטיפול בעירית שנקצרה, חיתוכה ומיונה בהתאם לאריזה שנקבעה. ההזנה למערכת בבית האריזה תבוצע על ידי הזנת אריזת ביניים. מערכת האוטומציה בבית האריזה וזיהוי מחלות ונגעים (traceability) תאפשר גם עקיבות אחר המוצר מטרת המחקר הינה חיסכון בידיים עובדות, חיסכון בתשומות, העלאת היקף ייצור המשקים ושיפור האיכות והפריון באמצעות פיתוח מערכת אוטומציה נבונה למיון עירית טרייה.

תהליך הטיפול בעירית הינו כולל מספר שלבים המתוארים באופן מפורט בתוצאות המחקר ההקדמי. נזכיר כאן שבעיקר מדובר בקציר, הזנה למכונת חיתוך מיון ראשוני ומיון סופי. בתהליך גידול ומיון העירית ישנו פחת גבוה אשר מגדיל את העלויות ומקשה על התפתחות הענף (מחקר מקדים אביטל בכר וחוי 2010). כפחת בתהליך מוגדרת כל כמות העירית אשר יורדת ממשקל האגד לאורך התהליך החל משלב הקציר ועד לסיום שלב המיון. כמות הפחת הרבה נובעת מתהליכי המיון הקפדניים המסננים את רוב התוצרת. בנוסף לפחת בתהליך, ישנו פחת של היבול שנשתל, וזאת עוד בטרם הבאתו לבית האריזה. לפי הערכת החקלאים כ-30% מהקצירים של היבול הינם "קציר טכני" שבהם כל התוצרת מושמדת ולא מגיעה כלל לבית האריזה. בזמן הקציר ממלאים העובדים את הארגזים, בסיום מילוי ארגז העובד משאירו בשורות עד סיום הקציר והולך להביא ארגז ריק חדש וממשיכים את הקציר מאותה נקודה. בסיום העבודה לוקחים העובדים את כל הארגזים המלאים לרכב החונה מחוץ לחממה.

קציר ממוכן קיים בעיקר בגידול תבלינים בשטח הפתוח ו/או לכאלו המיועדים לשיווק ישיר. לדוגמה מיכון איטלקי תוצרת Euro Prima doo או מיכון גרמני תוצרת Asa-lift, או לחילופין כלים פשוטים המיועדים לתפעול ידני על ידי העובד כגון אלו של Jenquip מניו-זילנד. חלופה לעבודת ידניים יכולה להיות מערכת רובוטית. על פי מאמר הסקירה בנושא [2] חלה בשנים האחרונות, התקדמות ניכרת בתחום של רובוטיקה בחקלאות. אולם, מערכת רובוטית המיועדת לעבודה במטעים או בחממות נדרשות ליכולת פעולה בסביבה חקלאית שהיא לא מובנית ושלא תפגום באיכות העבודה בהשוואה עם החלופות. בכדי להטמיע מערכות רובוטיות בתוך תהליכים חקלאיים, יש לפתח טכנולוגיות שיתגברו על קשיים כגון רציפות של תנאי העבודה והסביבה כמו גם השונות בין התוצרת וסביבת העבודה. הכרחי לפתח מערכות חכמות בכדי לקבל מעטפת ביצועים ותפעול מוצלחים בסביבות כאלה. עלות מערכת רובוטיות כמוזכר לעיל חייבת אפקטיבית. בנוסף, משולבים כאן גם נושאי בטיחות ואמינות שהנם בין ההיבטים החשובים ביותר. הטיפול בתחום אלו מתחייב בעיקר באשר לאמור לבטיחות של אנשים, שימור הסביבה והטחת יבול ותוצרת. למרות התקדמות רבה שבוצע במהלך השנים האחרונות, ברוב המקרים הטכנולוגיה עדיין לא מסחרית זמינה לשימוש ועדיין דרוש מחקר נוסף. בתחום זה הכיוונים של המחקר העתידי הם: מערכות רכישת מידע, כולל חיישנים, אלגוריתמים היתוך מידע מחיישנים, ניתוח הנתונים משופר, להתכוונן לתנאים דינאמיים של סביבות חקלאיות לא מובנות. נדרש מחקר אינטנסיבי לאינטגרציה של מפעיל אנושי לתוך הלולאה שלמערכת בקרת, ולבחון כיצד היא משפרת את ביצועי המערכת ואת אמינותה.

יש לצמצם את גודל המערכת יחד עם שיפור השילוב של כל חלקי ורכיבי המערכת [2]. משקל ומראה האגד מהווה בהרבה מקרים מדד טוב איכות התוצרת. עם זאת, לא קיימות מערכות ממוכנות היום לקביעה אוטומטית של איכות עירית. בענף התבלינים בכלל, והעירית בפרט, אין היום מכונה למיון באופן אוטומטי, ללא התערבות אדם. מחקר זה ינסה לתת מענה לסוגיה זו. ראייה ממוחשבת הופכת לפוצה יותר ויותר ביישומים חקלאיים, הן בגלל הציוד המתקדם שניתן להשיג היום במחירים סבירים, והן בגלל ההתקדמות בפיתוח אלגוריתמים, המאפשרים אנליזה של התמונה וקבלת מידע כמותי רב על תכנה. עד היום הצטבר ידע רב, בארץ ובעולם, על שימוש בראייה ממוחשבת למיון תוצרת חקלאית, החל מתוצרת טריה כמו גזר, עגבניות וכדומה, פירות כמו תפוחי עץ, שזיפים, תמרים ועוד [7], [3], [10], וגם מוצרים כמו פיסטוקים [6], ועוד. כמו כן, פותחו אלגוריתמים רבים של קבלת החלטות לסווג אוכלוסיות לקבוצות איכות [4] חלק מאלגוריתמים אלה מסוגלים להתמודד עם השונות הגדולה של החומר החקלאי. ביניהם רשתות עצביות ואלגוריתמי סווג אדפטיביים המתאימים את עצמם לתכונות הסטטיסטיות של האוכלוסיה המסווגת. בתחום הפרחים פותחו לאחרונה מכונות המשתמשות בראייה ממוחשבת למיון צמחים בעציצים, פרחים ועוד (AWETA - The Netherlands). מכונות אלה הן בדרך כלל גדולות ויקרות ולא מתאימות להיקף העבודה ברוב בתי האריזה בארץ, על אחת כמה וכמה בבית אריזה של משק מושבי.

יתר על כן, מכונות אלה אינן מתייחסות לבירור פקעות על סמך פגמים וצורה ולכן, בחלק מהמקרים נדרש מיון בעבודה ידנית נוספת.

על מנת להשתמש בראייה ממוחשבת מיון עירית לקבוצות איכות, צריך לקבל מידע כמותי מהתמונה על גודל וצורת עלי העירית, כמו כן, מידע על סוג והיקף הפגיעות על פני שטחן. ניתן למצוא היום מידע רב על מגוון אלגוריתמים לאיפיון צורה של גופים [8], שיכולים לשמש כבסיס לפיתוח אלגוריתמים ספציפיים. כמו כן, ניתן למצוא עבודות המצביעות על אורכי הגל האופטימאליים לזיהוי סוגים שונים של פגמים על פני מוצרים חקלאיים (Searcy 1993). מידע זה מהווה בסיס לאפיון ובניה של מערכת ראייה ממוחשבת מתאימה. לפי הסקירה הקצרה לעיל, ניתן לקבוע שנעשה שימוש רב בראייה ממוחשבת למיון תוצרת חקלאית בהרבה הענפים, אך אין היום מכונה למיון אוטומטי של עלי עירית לפי. מלאכת המיון נעשית היום על ידי מיון ידני. לכן, יש צורך אמיתי בענף התבלינים בכלל, וענף העירית בפרט, לפיתוח מכונה אוטומטית למיון צורך בעבודה ידנית. התועלת הצפויה מהמחקר הינה חיסכון בידיים עובדות, הגדלת האיכות וקיצוץ בעלויות הייצור והמלאי במשקי עירית. ברמה הלאומית, פיתוח מערכת אוטומציה למיון ואריזת עירית יקטין את מספר העובדים הזרים, יגדיל את שרידות הענף ויגדיל את יתרונות החקלאים הישראלים בשווקים בינלאומיים. מטרת המחקר למצוא פתרון משולב מערכתי לכל תהליך הטיפול בעירית שיאפשר מיכון ואוטומציה באופן סינרגטי מהקציר ועד לאריזה.

## 5. פירוט עיקרי הניסויים במהלך תקופת הדו"ח

בשנה הראשונה בשלב הראשון בוצע עדכון של שלבי העבודה, והנתונים על המצב הקיים במשקים, עדכון חקר שיטות וחקר עבודה של המצב הקיים. איתור צווארי בקבוק ונקודות קריטיות בתהליך. אפיון הפרמטרים החשובים לשלבי המיון והאריזה. הכנת מספר פתרונות וחלופות במתכונת שלמערך סכמתי למכונות השונות על פי המשימות. סיעור מוחות בצוות מורחב שכלל מגדלים ומדריכים לבחינת החלופות המתאימות לאב טיפוס. כתוצאה מהתהליכים הנ"ל נבחנו מספר חלופות לכל שלב בתהליך. התהליך בעקרון מתחלק לשני תהליכים עיקריים: א. הקציר וב. המיון ואגידה. הקציר נעשה בבתי הגידול בחממות בדרך כלל, האריזה ואגידה נעשית בבית האריזה (הקטן יחסית בד"כ) של המגדל כאשר כל התהליך הינו ידני לחלוטין. שלב הקציר:

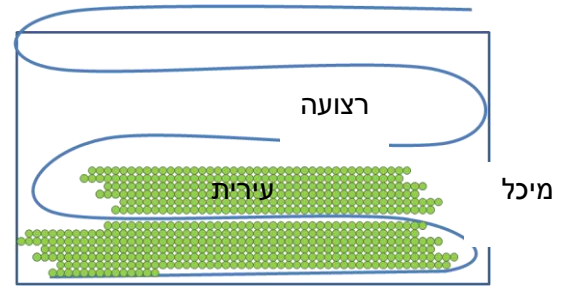
ההבנה אליה הגענו היא שכדאי מאוד להשתחרר מהליך אגידה בגומיות החוזר ונשנה מהקציר הידני עד לתום המיון והשקילה. לשם כך נשקל המעבר לקציר אל מעין אלומה במיכל ושימוש ברצועה דקה ליצירת שטף של מעין מחסנית שתפרק בשלב הבא בבית המיון כמתואר באיור 1. הרצועה יכולה להיות מבד, פלסטיק או מנייר- כל אלו ייבחנו בשלב הבא של המחקר ליעילות ולכלכליות.

בנוסף נבחנו מספר אופציות לחיתוך והרמה של העירית. תוכננה ונבנתה מערכת להרמת העירית. החיתוך התבסס על חיתוך גזם שיחים והמסועים כפולים הצמודים זה לזה במרווח של 40 מ"מ. תאור המערכת מופיע בצילום 2. למערכת זה נערכו מספר נסיונות לבחינת יכולת ההרמה של העירית שחרור יעיל ובחינת נזק מכאני. במקצרת גדר חיה קצרנו את העירית, פעולה זו נעשתה כאשר בצורה בודדת התוצאה הייתה טובה. בשלב הבא שני הסרטים ברוחב 200 מ"מ באורך 2000 מ"מ עם המקצרה בחזית סרטים אלו הורכבו על גלגלי הנעה בזווית 30° הסרטים הונעו בעזרת מנוע חשמלי בעל אפשרות כוונן המהירות. הניסוי נערך בחממת עירית הקיימת במכון להנדסה.

תוצאות הניסוי של מעבר העירית בין שני הסרטים בהנחה ידנית ללא מערכת הקציר היו טובה, בניסיון להסיע את המערכת עם המקצרה נתקלנו בבעיות של מעבר העירית בין המקצרה לבין הסרטים. על מנת לאפשר מעבר יותר טוב מתוכנן לנסות משור סרט (מקצרת עלי בייבי) בחזית שני הסרטים.



תמונה 2 : מערכת ניסיונית לקציר ולהרמת העירית



איור 1 : שימוש ברצועה דקה ליצירת שטף של מעין מחסנית שתפרק בשלב הבא בבית המיון.

בשנה השנייה נמשכו הניסויים במטרה להשתחרר מהליך אגידה בגומיות החוזר ונשנה מהקציר הידני עד לתום המיון והשקילה. נמשכו הניסויים במערכת שנבנתה בתחילת המחקר להרמת העירית. מערכת החיתוך שהתבססה מיכון לחיתוך וגזם שיחים הוחלפה. נוסו שתי חלופות: א. מסוע סרט מיוחד שנבנה לצורך כך (איור 3), ב. מסור סכין רוטטת (איור 4). המיוחד שבסרט החיתוך הוא בכך שהוא שהותאם לקציר של שורת גידול אחת (מסורי סרט הקיימים במכונת תבלינים הן בדרך כלל ברוחב ערוגה לפחות). בנוסף אותר בחו"ל חומר מיוחד המתאים לזוויות חביקה קטנות כפי שיושמו כאן והוא בהזמנה על ידי ייצרן סרטי מסור בארץ וייבחר לכשיגיע לידנו. הסכין רוטטת שולבה בהתקן של מסור חיתוך (JIGSAW) ושולבה במערכת המסועים. כמו כן הוספנו בתחילה מעין טנא (איור 3) לקבלת העירית הנקצרת ובשלב השני מיכל-משפך קבלה (איור 4). תוצאות החיתוך במסוע הסרט היו מעודדות ביכולת החיתוך וההרמה של העירית.

בשנה השלישית נבחנה הסכין בקציר עירית בחממת הניסוי שבמכון להנדסה. והוחלט על מספר שיפורים נוספים משפך הכניסה הוחלף בפתחה זוויתית של כניסת המסועים. בנוסף הכלי נוסה גם בשטח מסחרי של קבוץ "קלייה" (איורים 7 ו 8). אנשי הגידול הביעו רצונם לרכוש כל חצי מסחרי לצורך בחינת הנושא באופן מעמיק ומסחרי. לשם כך יזמנו קשר עם יצרן פוטנציאלי, חברת "טקטו", שהסכימו להיכנס לשתי"פ עם המכון להנדסה בנושא. מו"מ למסחור הנושא מתנהל בימים אלו על ידי יחידת קידום במנהל המחקר החקלאי לקידום הנושא באופן מעשי. במקביל החלנו בתכנון מפורט של המקצרה במערכת תיב"מ כמתואר בתמונה באיור 9.



איור 4 : מסור סכין רוטטת מיועד לשורת עירית בודדת



איור 3 : מסוע מסור סרט מיוחד לשורת עירית בודדת



איור 6 : משפך לקבלת העירית הנקצרת



איור 5 : טנא לקבלת העירית הנקצרת



איור 8 : ניסוי קציר בחממה מסחרית בקלייה



איור 7 : פתיחה בכניסה של מסועים מרימים שלב המיון :

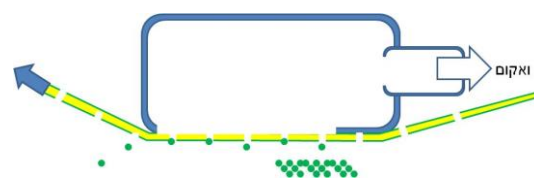
בשנה הראשונה הועלו מספר רעיונות שעיקרן שיש לבצע סינוגלוציה של העירית לצורך צילום חיתוך ומיון על פי איכות ואורך. העיקרון הבסיסי שהוחלט לבחון בסופו של דבר מתואר באיור 10 א'. סרט דק מנוקב בנקבים של 2-3 מ"מ נע בצמוד לתא ואקום על פני חריץ. הוא חולף מעל ערימת העירית במרחק מסוים שמידתו המדויקת עדיין לא הוגדרה בניסויים אך הובחנה כאפשרית. במצב זה יונק הנקב ומצמיד אליו את



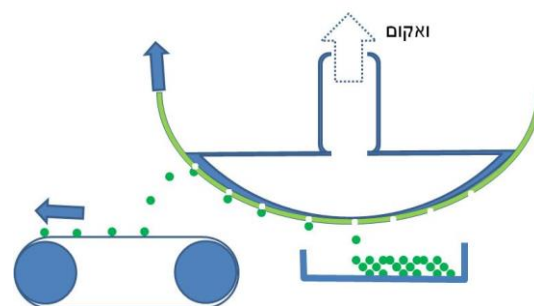
העירית הבודדת ונצר סרט מלא בגבעולים במרווחים מדודים עם תום תא היניקה המשקל העצמי משחרר הגבעולים על גבי סרט הנושא את הגבעולים אל תא הצילום. נבנתה מערכת ניסיונית כזאת ונמצא שמחד הכוחות הנוצרים על הסרט הם גדולים ויש קושי מאידך לשמור על מתיחות כאש המערכת הינה בקו ישר לכן תוכננה ונבנתה מערכת חדשה המבוססת על קו יניקה קשתי כמתואר באיור 10 ב'. מערכת זו נוסתה ונמצאה כמבטיחה להמשך הפיתוח תמונה מס' 11. בשלב זה תוכננו מספר מערכות נוספות המתוארת באיורים 12 ו 13. מערכת זו עברה את שלבי תיכון הנדסי אך לאור הסיבוכים שנתגלו בביצוע כמו גם מספר מכשלות שאותרו בשלב זה הוחלט לא לבנותה בהמשך.



איור 9 : בתכנון מפורט של המקצרה במערכת תיב"מ



איור 10 א : סכמת מערכת יניקה סינגולרית בסיסית

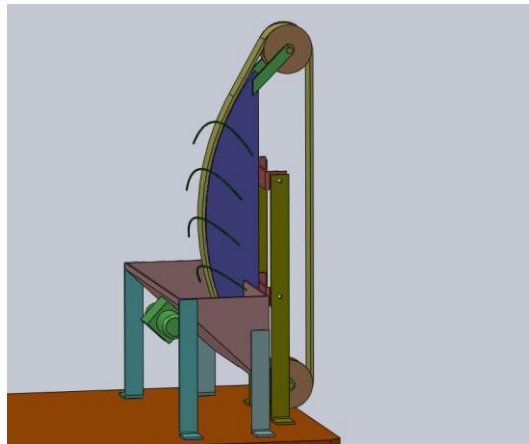


איור 10 ב : סכמת מערכת יניקה סינגולרית משופרת מבוססת תעלה קשתית.

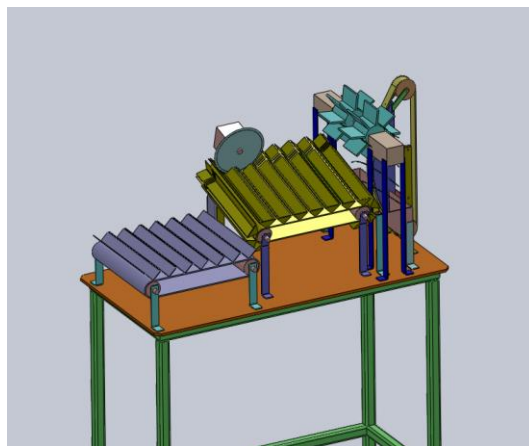




תמונה 11 : תמונת ניסוי עם מערכת יניקה סינגולארית משופרת מבוססת תעלה קשתית אנכית.



איור 12 : סכמת מערכת יניקה סינגולארית משופרת מבוססת תעלה קשתית אנכית.



איור 13: סכמת מערכת יניקה סינגולארית משופרת מבוססת תעלה קשתית אנכית ומערכת קוצבת מסוע תאים עם חיתוך לאורך אחיד.

### שלב המיון:

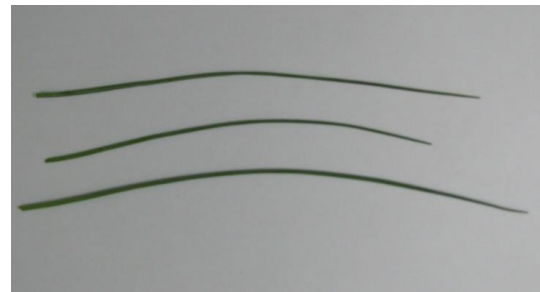
בשנה הראשונה נבחנה מקרוב מערכת שפותחה בזמנו על ידי "עשת אילון" ונראה כי הרובוטיקה הרבה שהיתה משולבת בה הכריעו את הכף לאי יישומה, מה שמחזק את כוונתנו לנסות וליישם את מערכת הסינגליזציה המבוססת תנועה רצופה של פיות הואקום. נבנתה זרועה עם פיה בודדת לבחינה של מנגנון מבוסס מעין זרועות עכביש. המנגנון מתפקד סביר בימים אלו מתבצע תכנון של מנגנון רב זרועי שייבחן בהמשך כחלופה לסרט הואקום שפותח בשלב הקודם.

בשנה השנייה נערכו צילומים של עירית במצבים שונים (איור 14) ופותח אבטיפוס של אלגוריתם המסוגל לזהות עירית בודדת או כפולה ועירית בריאה או פגועה. האלגוריתם לזיהוי סינגולזציה מבוסס על ניתוח רציפות קוי המתאר ומודגם באיור 15. האלגוריתם לזיהוי פגעים מבוסס על ניתוח ההבדלים אופייניים בהיסטוגרמת הצבע בסולם HLS של העירית הבודדת (דוגמא באיור 16) בעיקר בתחום HUE (איור 716 ב')

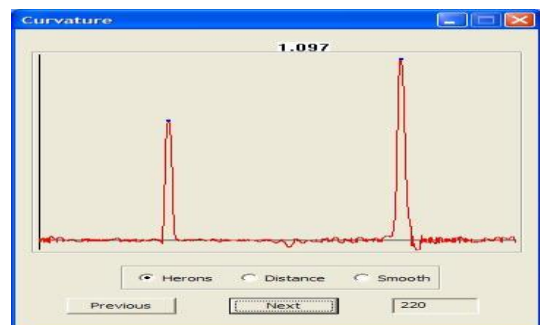
בשנה השלישית התרכזנו במדידות של עירית בתנועה על גבי מסוע ומצאנו כי נדרש להשתמש במצלמות עם רזולוציה מינימאלית של 700X1200. הניסויים הראו כי בכיוון זום (מרחק המצלמה מהסרט) שייתן 0.2 מ"מ לפיקסל אפשר לקלוט קטע עירית שארכו 140 מ"מ ברוחב הסרט. ניתן לזהות פגמים של 'טריפס' בקצב של 3 צילומים לשנייה כלומר 360 מ"מ לשנייה – מהירות סבירה לסרט מיון. כמובן שזו מצלמה פשוטה ביותר כל שיפור באיכות המצלמה יביא לביצועים משופרים. בניסויים אלא נמצא כי צילום על גבי רקע כחול משפר ביצועים משמעותית בעקבות זאת נבנה מסוע עם תאים משניים מפלסטיק כחול (איור 17) ובו נערכו מדידות של עירית בתנועה.



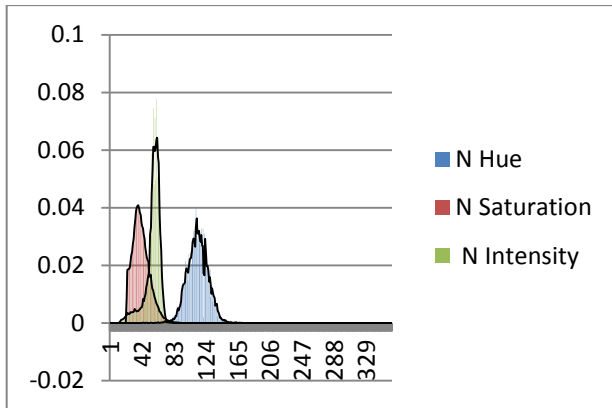
איור 15 ב': צילום של עירית בחפיפה



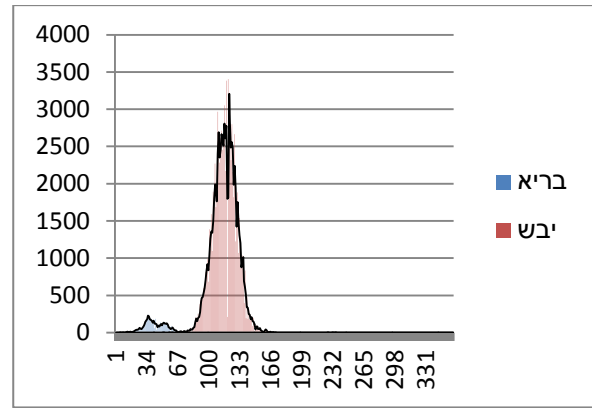
איור 14 א': צילום של עירית מופרדת



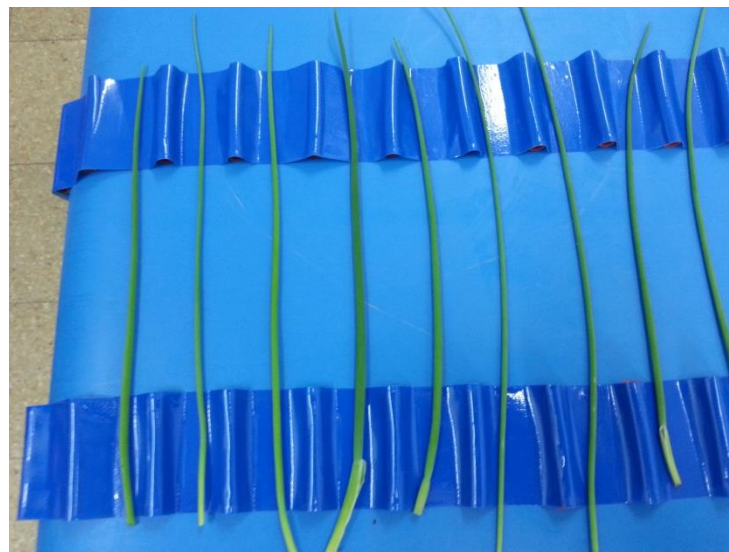
איור 15 : אנליזת קצוות ממוחשבת בהתאמה לצילום באיור 5 המראה את שיטת המיון בצילומי עירית מופרדת ומוצלבת (הזנה כפולה).



איור 16 א': היסטוגרמת HLS של גבעול בריא



איור 16 ב': היסטוגרמת צבע HUE של גבעולי עירית



איור 17 : מסוע עם תאים משניים מפלסטיק כחול

לדוח זה שהוגש בזמנו מתווספת כאן השלמה על העבודה שנעשתה בהמשך ללא תקצוב נוסף להלך דו"ח משלים לתכנית מחקר מס' 458-0551-12

### 5.1. דו"ח משלים לתכנית מחקר מס' 12-0551-458

לנושא: פיתוח מערכת אוטומציה נבונה למיון ואריזת עירית טרייה להגדלת הפריון וחיסכון בידיים עובדות.

Development of smart automated system for sorting and packing fresh chives in order to save manual labor and increasing efficiency

מוגש למדען הראשי משרד החקלאות על ידי:

זאב שמילוביץ, אביטל בכר, ויקטור אלחנתי, דוד קניגסבוך, בני רונן, ויאצ'סלב אוסטרובסקי, גיא לידור, רפי רגב, אהרון הופמן וחיים אגוזי.

מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני

#### 5.1.1. מבוא

מאחר כשתקופת המחקר נסתיימה 2014, מצאנו שלא הגענו ליעדים המתוכננים ובקשנו הארכה ללא תקציב לשנה נוספת, עד סוף 2015. במהלך סוף 2014 ובמשך השנה האחרונה ניסינו לקדם את המחקר בנושא אך נתקלנו בקשיים מרובים, כשלים והצלחות מעטות.

#### 5.1.2. קציר

מאחר אב טיפוס ראשון למקצרת עירית (מדגים טכנולוגיה) נבנה ונוסה. הוחל במו"מ עם מגדלים ויצרן פוטנציאלי. נבחר יצרן ומגדל. תהליכי העברת ההסכם עם היצרן במינהל המחקר ארכו זמן רב אך בתחילת 2015 הייתה בידנו טיוטת הסכם חתומה. לאחר חתימת הטיוטה השקענו מאמצים רבים בתכנון מפורט, במהלך הרבעון הראשון של 2015 יצרנו תיק שרטוטים למערכות וחלקי המכונה ("ברמת הבורג") בכדי שהיצרן יוכל לבצע העבודה. לאחר חתימת הטיוטה והכנת תיק הייצור, למרות זאת היצרן פנה לאפיקים נוספים והתחייב בבניה של מכונות אחרות. במפגש האחרון עמו נמסר לנו שגם אנו נשיג מימון הולם (משימה קשה בפני עצמה לאור העלמות המגדלים בתחום) לא יוכל היצרן להתחיל בבניה בשנת 2015 ולמעשה הייצור והשתתפותו בנושא מושהת עד להודעה חדשה.

#### 5.1.3. מיון

ברבעון האחרון של 2014 פתחנו מנגנון כוכב מזין המעביר את התוצרת מהמקצרה אל ארגז קבלה במנות קטנות על מנת לאפשר הנחה מסודרת בארגז הקבלה לצרכי השלב הבא במיון (תמונה 1). מאחר והענף נמצא במשבר, מנגנון זה או אחר שפיתחנו נבדק באופן חלקי ונתקלנו בקשיים מרובים להשיג עירית בשוק או ממגדלים. גם התכנית לגדל בעצמנו כשלה מאחר ו"חישתיל" הפסיקו להכין שתילים מחוסר כלכליות הנובע מהידלדלות והעלמות המגדלים מהתחום. בסוף 2014 הצלחנו לנסות את מנגנון הכוכב והוא הראה יכולת מבטיחה שגם עודדה בזמנו על היצרן כתוספת שתוכנס על ידו לתכנון הני"ל.

#### 5.1.4. סינגולציה

מערכת הרמת גבעולי עירית בודדים באמצעות ואקום המבוססת על סרט מנוקב הנע על פני תא ואקום שוקמה אך בניסויים חוזרים במהלך הרבעון הרביעי של 2014 נמצא כי הביצועים אינם מספקים כלל. במהלך הרבעון הראשון של 2015 נבחנו גישות חדשות. אחד הרעיונות היה לפתח מנגנון אוטומטי מבוסס פיה המתרוממת עם

נגיעה נכונה בגבעול האוטס את המנגנון ויגרום לוואקום להרים את הצינורית מסיליקון היונקת את העירית כמתואר בסכמה 1. תיכון מפורט של המערכת העלה חששות ליכולת ביצוע של מערכת מורכבת כזו ומכאן פותח הרעיון לנסות 'מפוחית גומי' מתאימה כמוראה בסכמות 2 ו 3. נערך חיפוש מקיף, כולל בחו"ל, לספק של מפוחית גומי מתאימה. יובאה דוגמא אחת מארה"ב וכן דוגמא נוספת שנמצאה בארץ (תמונה 2). התכנון של המערכת נעשה במהלך הרבעון השלישי של 2014 ומובא בסכמה 4. במהלך הרבעון שני של 2015 המנגנון חובר למערכת וואקום ונערכו ניסויים לבדיקת עיקרון הפעולה (תמונה 3 א' וב'). הניסויים הראו כי המערכת מסוגלת לבצע את ההרמה אך הוואקום הנדרש הוא גבוה מחד ופעולת השחרור היא לא מדויקת ויש חשש לאי סנכרון עם מסוע תאים המיועד לקלוט את הגבעול הנופל.

מאחר והקונספט הינו שהמערכת המרימה את השתילים צריכה לעבוד בקו ישר ומקביל למסוע בכדי לאפשר סנכרון מרבי עמו פותח רעיון מכאני חדשני המודגם בסכמה 3. אב טיפוס של מערכת זו נבנה ונוסה ברבעון השלישי של 2015 (תמונות מס' 4 א'-ד'). תוצאות ניסויי המערכת הראו התכנות ליישום אם כי גם כאן נמצא שדרישות הוואקום הינן גבוהות. אך ניתן לעמוד בהן להערכתנו.

סילוק עירית פגומה ממסוע מיון באמצעיים פניאומאטיים

במהלך הרבעון השני של 2015 פותחה מערכת פינוי באמצעות פיית ואקום (תמונה 5). נערכו ניסויים לבחינת היכולת לפנות בזמן תנועה של מסוע תא בודד על ידי פעימת אוויר מסונכרנת. נמצא שאפשר לפנות עיריות בקצב של מהירות המסוע 0.3 מטר לשנייה.

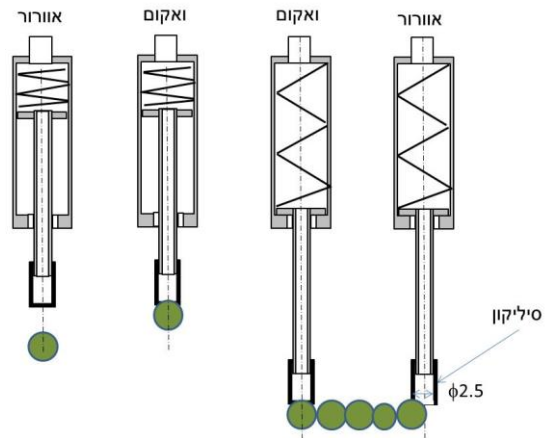
בקרה כוללת שילוב PLC

במהלך הרבעון האחרון של 2014 פותחה תוכנה של הפעלת המערך באמצעות בקר מתוכנת (PLC). על בסיס האלגוריתם המוצג בסכמה 5.

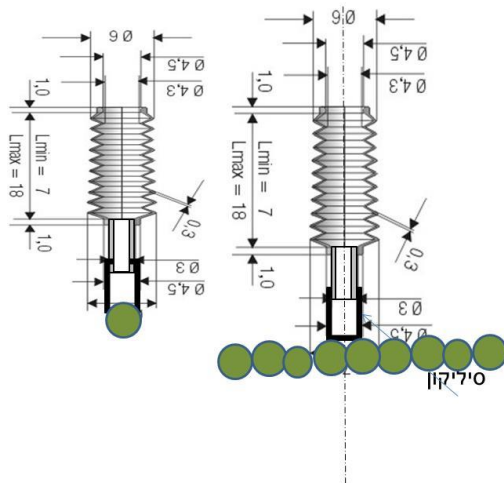
### 5.1.5 סיכום

בתוספת העבודה לכל מה שנכתב כבר בדו"ח המסכם הקודם למחקר זה פותחו תיכון מפורט למקצרה, מנגנון קוצב לארגז קבלה מהמקצרה, מנגנון פיות וואקום אוטומטי, פיות סילוק פניאומטיות, תוכנת בקר לשליטה על המערכות העתידיות. בוצעו ניסויים לבחינת הנ"ל באתרים הבאים: קיבוץ קליה, המכון להנדסה חקלאית. תהליך הפיתוח הסתיים ברבעון השלישי של 2015 ובשלב זה המשך עתיד העבודה לוט בערפל של לאור התחושה שאין דורש למערכת עתידית לא כל שכן יצרן מסחרי.

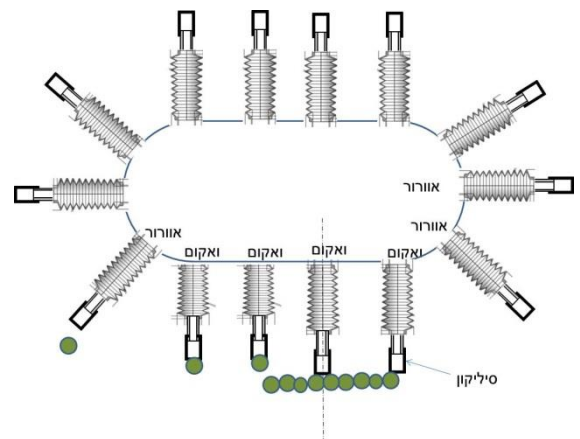
סכמה 1 : פיה המתרוממת



סכמה 2 : פיה המתרוממת מבוססת מפוחית



סכמה 3 : מגנון הפעלת פיות מפוחית



תמונה 1 : כוכב מזין

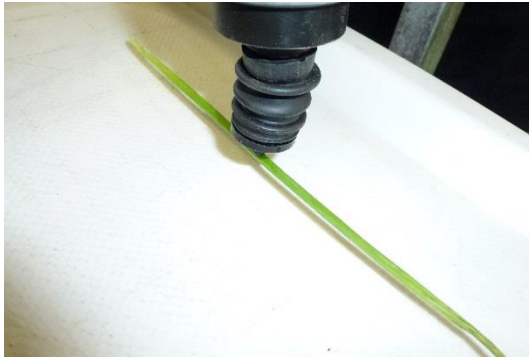


תמונה 2 : פיות עם מפוחית גומי מסוגים שונים





תמונה 3 א: ניסוי יניקה של פיה מסוג שני



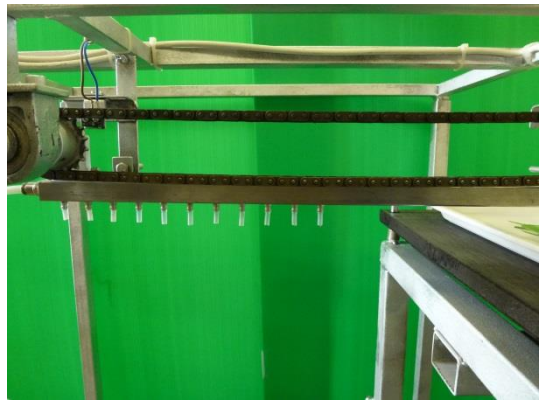
תמונה 3 א: ניסוי יניקה של פיה מסוג אחד



תמונה 4ב': מערכת המנגנון לסנכרון פיות יניקה



תמונה 4א': מנגנון לסנכרון מרבי של פיות יניקה



תמונה 4ד': המנגנון המכאני לתנועה דו כיונית



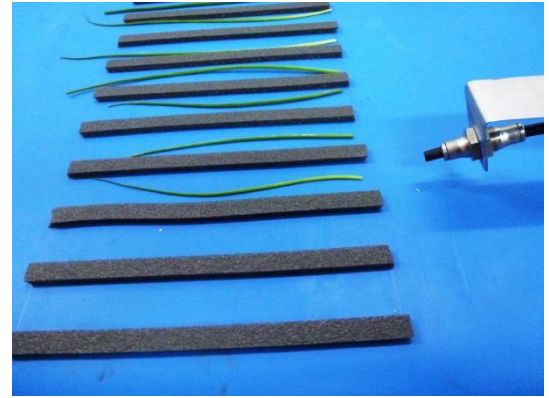
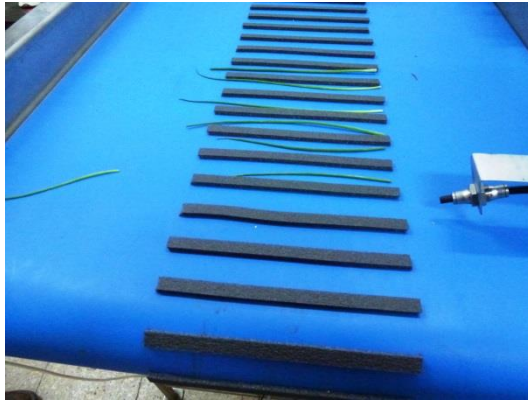
תמונה 4ג': ניסוי יניקה



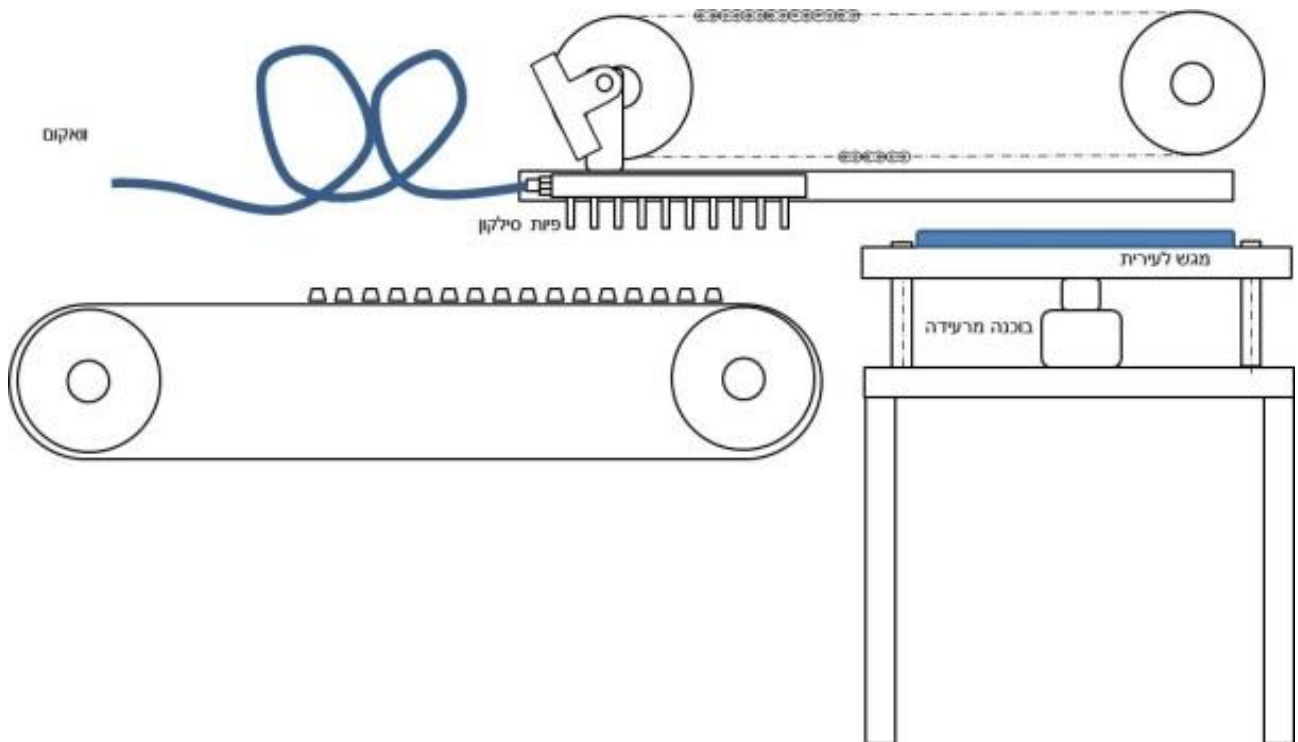


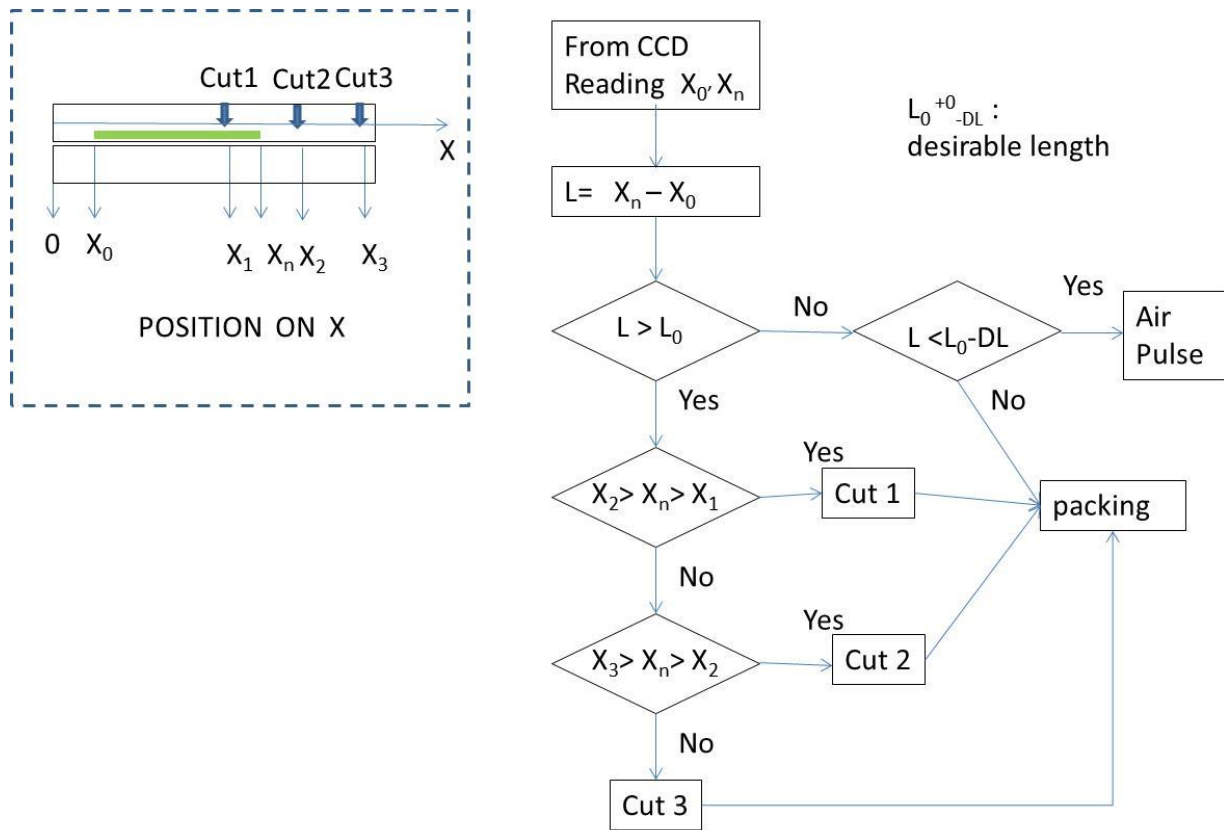
תמונה 5 א': פיית הוצאה מהמסוע

תמונה 5 ב': ניסוי הפעלת פולס אוויר להוצאה



סכמה 4: מנגנון פיות ואקום לתנועה מסונכרנת





## 6. מקורות

1) אביטל בכר, ויקטור אלחנתי, אהרון ויסבלום, נחשון שמיר, בני רונן, ויאצסלב אוסטרובסקי, גיא לידור, רפי רגב (2010). דו"ח מסכם לתוכנית מחקר מספר 459-04285-07, פיתוח מערכת אוטומציה נבונה למיון ואריזת עירית טרייה להגדלת הפיריון וחיסכון בידיים עובדות.

- 2) Bechar Avital (2010) Robotics in horticultural field production. *Stewart Postharvest Review journal* 3:11 (pp2-11)
- 3) Delwiche M.J., Tang S. and Thompson J.F., 1993. A high speed sorting system for dried prunes. *Transactions of the ASAE* 36(1):195-200.
- 4) Duda O. D. and Hart P.E. 1973. *Pattern classification and scene analysis*. John Wiley & Sons.
- 5) Ni B., Paulsen M.R., Liao K. and Reid J.F., 1993. An automated corn kernel inspection system using machine vision. ASAE paper 93-3032.

- 6) Pearson, T.C., Doster, M.A., Michailides, T.J., 2001. Automated detection of pistachio defects by machine vision. Applied Engineering in Agriculture, 17(5) 729-732
- 7) Rehkugler G.E. and Throop J.A., 1986. Apple sorting by machine vision. Transactions of the ASAE 35(6):1873-1878.
- 8) Rosenfed A. and Kak A.C., 1982. Digital picture processing. Academic Press, Inc., Orlando, Florida.
- 9) Searcy S.W., 1993. Spectral properties of geophytes. Journal of agricultural engineering research.
- 10) Singh N., Delwiche M.J., Johnson R.S., 1993. Machine vision algorithms for defect grading of stonefruit. ASAE paper 93-3005.

#### 7. סיכום עם שאלות מנחות

נא להתייחס לכל השאלות בקצרה ולעניין, ב-3 עד 4 שורות לכל שאלה (לא תובא בחשבון חריגה מגבולות המסגרת המודפסת).

שיתוף הפעולה שלך יסייע לתהליך ההערכה של תוצאות המחקר.

**הערה:** נא לציין הפנייה לדו"ח אם נכללו בו נקודות נוספות לאלה שבסיכום.

<b>מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.</b>
מטרת המחקר למצוא פתרון משולב מערכתי לכל תהליך הטיפול בעירית שיאפשר מיכון ואוטומציה באופן סינרגטי מהקטיף ועד לאריזה.
<b>עיקרי הניסויים והתוצאות.</b>
פותחה ונבנתה מערכת ניסיונית לקציר ולהרמת העירית. המערכת עברה מספר שלבים של פיתוח וניסויים בשטח כולל הדגמה לחקלאים ולחברה מסחרית. תוכנן אב טיפוס התקיים מו"מ להמשך שת"פ ליישום הפיתוח הזה נחתם טיוטת הסכם ממנה נסוג היצרן בשלב מאוחר יותר לצערנו. נבנתה מערכת ניסיונית עם סרט דק מנוקב בנקבים של 2-3 מ"מ נע בצמוד לתא ואקום על פני חריץ נמצא שמחד הכוחות הנוצרים על הסרט הם גדולים ויש קושי מאידך לשמור על מתיחות כאשר המערכת הינה בקו ישר לכן תוכננה ונבנתה מערכת חדשה המבוססת על קו יניקה קשתי ומערכת זו נוסתה ונמצאה כמבטיחה להמשך הפיתוח. מערכת זו עברה את שלבי תיכון הנדסי אך לאור הסיבוכים שנתגלו בביצוע כמו גם מספר מכשלות שאותרו בשלב זה הוחלט לא לבנותה בהמשך. לצרכי מיון על פי ראייה ממוחשבת נערכו צילומים של עירית במצבים שונים ופותח אבטיפוס של אלגוריתם המסוגל לזהות עירית בודדת או כפולה ועירית בריאה או פגועה. נבנה אבטיפוס ראשוני למסוע סרט כחול עם תאים משניים לבחינת ביצועי מצלמות מיון פשוטות ונמצא כמתאים.
בתוספת העבודה לכל מה שנכתב כבר בדו"ח המסכם הקודם למחקר זה פותחו תיכון מפורט למקצרה, מנגנון קוצב לארגז קבלה מהמקצרה, מנגנון פיות וואקום אוטומטי, פיות סילוק פניאומטיות, תוכנת בקר לשליטה על המערכות העתידיות. בוצעו ניסויים לבחינת הנ"ל באתרים הבאים: קיבוץ קליה, המכון להנדסה חקלאית.

<p><b>מסקנות מדעיות והשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדוח?</b></p> <p>פיתוח מיכון לעירית ככל הידוע לנו במקומות אחרים לא הגיע ליישום מסחרי. המחקר הנוכחי הינו בעל ראייה מערכתית בנוסף לראייה הנקודתית בשל הקשר ההדוק בין שלב הקציר לשלבי המיון והאריזה. המערכת אורה להיות מערכת אוטומציה נבונה משולבת ראייה ממוחשבת לטיפול בעירית שנקצרה, חיתוכה ומיונה בהתאם לאריזה שנקבעה. ההזנה למערכת בבית האריזה תבוצע על ידי הזנת אריזת ביניים. התועלת הצפויה מהמחקר הינה חיסכון בידיים עובדות, הגדלת האיכות וקיצוץ בעלויות הייצור והמלאי במשקי עירית. הערכות הן שפיתוח מערכת אוטומציה למיון ואריזת עירית יקטין את מספר העובדים הזרים, יגדיל את שרידות הענף ויגדיל את יתרונו החקלאים הישראלים בשווקים בינלאומיים. חלק ניכר מהמטרות הושגו אך יישומן אינו ברור כרגע.</p>
<p><b>בעיות שנתרו לפתרון ו/או שינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה; התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנתרה לביצוע תוכנית המחקר? חתימת הסכם דרך יחידת קידום לפיתוח מסחרי במקביל השלמת מערכת סינגולוציה המכאנית. יש לבחון שלוב מערכת שקילה ואריזה לאגדים מסחרית. אולם הליך הפיתוח הסתיים ברבעון השלישי 2015 ובשלב זה המשך עתיד העבודה לוט בערפל של לאור הממצאים שאין דורש כרגע למערכת עתידית לא כל שכן יצרן מסחרי.</b></p>
<p>הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח: <b>פרסומים בכתב</b> –</p> <p><b>פטנטים</b> - יש לציין שם ומס' פטנט; <b>הרצאות וימי עיון</b> - יש לפרט מקום, תאריך, ציטוט ביבליוגרפי של התקציר כמקובל בפרסום מאמר מדעי.</p>
<p><b>פרסום הדוח: אני ממליץ לפרסם את הדוח: (סמן אחת מהאופציות)</b></p>
<p style="text-align: right;">כן <input type="checkbox"/> לא <input type="checkbox"/></p>
<p><b>האם בכוונתך להגיש תוכנית המשך בתום תקופת המחקר הנוכחי? כן* - לא -</b></p>
<p style="text-align: right;">לא <input type="checkbox"/></p>

\*יש לענות על שאלה זו רק בדוח שנה ראשונה במחקר שאושר לשנתיים, או בדוח שנה שניה במחקר שאושר לשלוש שנים

