

דו"ח מסכם לתוכנית מחקר מספר 459-4349-11

מתקן לניקוי יריעות החממה

Developing of an installation for cleaning the greenhouse's sheets

מוגש לקרן מדען ראשי במשרד החקלאות

ע"י

הנדסת מערכות גידול, ייצור וסביבה, מינהל המחקר החקלאי, המכון להנדסה חקלאית	מרדכי ברק
הנדסת מערכות גידול, ייצור וסביבה, מינהל המחקר החקלאי, המכון להנדסה חקלאית	ד"ר אברהם ארבל
הנדסת מערכות גידול, ייצור וסביבה, מינהל המחקר החקלאי, המכון להנדסה חקלאית	ד"ר אלכסנדר שקליאר
הנדסת מערכות חישו, מידע ומיכון, מינהל המחקר החקלאי, המכון להנדסה חקלאית	גיא לידור
הנדסת מערכות חישו, מידע ומיכון, מינהל המחקר החקלאי, המכון להנדסה חקלאית	רון ברנשטיין
הנדסת מערכות חישו, מידע ומיכון, מינהל המחקר החקלאי, המכון להנדסה חקלאית	אוהליאב קיסר

M. Barak, Institute of Agricultural Engineering, ARO, P.O.B. 6 Bet Dagan. E-mail:
barak@agri.gov.il

A. Arbel, Institute of Agricultural Engineering, ARO, P.O.B. 6 Bet Dagan. E-mail:
arbel@agri.gov.il

A. Shklyar, Institute of Agricultural Engineering, ARO, P.O.B. 6 Bet Dagan. E-mail:
shklyar@agri.gov.il

G. Lidor, Institute of Agricultural Engineering, ARO, P.O.B. 6 Bet Dagan. E-mail:
lidor@volcani.agri.gov.il

R. Berenstein, Institute of Agricultural Engineering, ARO, P.O.B. 6 Bet Dagan. E-mail:
ronb@volcani.agri.gov.il

O. Keisar, Institute of Agricultural Engineering, ARO, P.O.B. 6 Bet Dagan. E-mail:
ohaliov@volcani.agri.gov.il

ספטמבר 2012

אלול תשע"ב

הממצאים בדו"ח זה הינם תוצאות ניסויים.

הניסויים מהווים המלצות לחקלאים: לא

חתימת החוקר

תקציר

הצגת הבעיה – קרינת השמש הינה אחד הגורמים החשובים המשפיעים על התפתחות הצמחים, היבול והאיכות. כתוצאה מהצטברות אבק ולכלוך על כיסוי החממות, קטן באופן משמעותי שטף קרינת השמש החודר לחממה. מספר עבודות הראו שישנה פגיעה ביבול העומדת ביחס ישר להפחתה בשטף קרינת השמש. כיום נפוצות מערכות שטיפת גגות לחממות בעלות כיסויים קשיחים כגון, חממות זכוכית. לעומת זאת, ניקוי החממות בעלות הכיסויים הגמישים, כגון יריעות פוליאתילן, נעשה באופן ידני ומחייב לפחות שני עובדים. הספקי העבודה בשיטה זו נמוכים ובשל החוסר בידים עבודות, המגדלים נמנעים מלנקות את כיסוי החממות באופן תדיר אלא לעיתים רחוקות, על אף ההכרה בחשיבות הנושא.

מהלך ושיטות עבודה – בשנה הראשונה העבודה התמקדה באפיון המשתנים של ראש הניקוי (מהירות סיבוב המברשת, מהירות התקדמות, שינוי עוצמת הניקה, התזת מים), על פי רמת הניקוי שהתקבלה בפועל. לצורך זה נבנה מתקן מעבדתי שאיפשר ביצוע ניסיונות להסעת מערכת הניקוי על מסגרות שעליהם נמתחו יריעות מלוכלכות ונמדדה רמת הקרינה לפני ואחרי הניקוי. העבודה בשנה השנייה התמקדה בפיתוח ובחינת מתקן הניקוי ומערכת ההסעה לצורך בחינת היתכנות בתנאים מעשיים. מתקן הניקוי תוכנן ונבנה על בסיס התוצאות שהתקבלו בשנה הראשונה. מערכת ההסעה מורכבת מגשר שהוא בבחינת סולם או פיגום הממוקם מעל גמלון החממה הנוסע לאורך החממה ומתקן הניקוי הנוסע על גביו ולרחב הגמלון. לצורך בחינת ביצועי מכלול זה, נבנתה חממה בעלת מפתח אחד.

תוצאות עיקריות – הפעלת מערכת הניקוי הניסיונית הראתה שאין פגיעה נראית לעין ביריעה. התוצאות שהתקבלו כתוצאה מהפעלת מערכת הניקוי בכל טווח הפרמטרים הניתנים לשנוי, הראו שבניקוי יבש - שינוי ברמות ניקוי היריעה בתחום של 3 עד 6 אחוז תוספת מעבר קרינה ביריעה ובניקוי רטוב של 12 עד 30 אחוז תוספת מעבר קרינה ביריעה. הפעלת מערכת הניקוי בתנאים מעשיים, הראתה שנסיעת ראש הניקוי במהירויות משתנות הייתה תקינה כמו כן מערכת העקיבה של ראש הניקוי אחר היריעה פעלה כמתוכנן ולא נצפתה פגיעה ורמת הניקוי נתקבלה כמצופה.

מסקנות והמלצות – על בסיס תוצאות מעודדות שהתקבלו, נראה שהפתרון המוצע עבר את מבחן ההיתכנות בהצלחה מלאה. מרבית המרכיבים טעוני שיפורים מהותיים על מנת שיהוו פתרון מסחרי ומומלץ להמשיך את עבודת הפיתוח במתכונת של "פיתוח משותף" עם יצרן מקומי מתאים.

פרסומים מדעיים שנבעו מביצוע המחקר: אין, בשלב זה

מבוא ותיאור הבעיה

קרינת השמש הינה אחד הגורמים החשובים המשפיעים על התפתחות הצמחים, היבול והאיכות. כתוצאה מהצטברות אבק ולכלוך על כיסוי החממות, קטן באופן משמעותי שטף קרינת השמש החודר לחממה. מספר עבודות הראו שישנה פגיעה ביבול העומדת ביחס ישר להפחתה בשטף קרינת השמש [1]. שהראתה שתוספת של אחוז אחד ברמת הקרינה מעלה את היבול ב - 400 ק"ג לדונם. [2] שהראתה ששטיפת גג החממה בתדירות של 10 ימים העלתה את היבול ב -

1.8 ק"ג למ"ר לעונה, בעבודה זו נבחנו גם יריעות מונעות אבק שבאחת מהן היו תוצאות היבול דומות לחממה עם היריעה השטופה.

כיום נפוצות מערכות שטיפת גגות לחממות בעלות כיסויים קשיחים כגון, חממות זכוכית. מערכות אלה מבוססות על הרטבת שטח הזכוכית והפעלת מברשות מסתובבות הנעות על פני השטח תוך יצירת לחץ עליו לשם הסרת האבק והלכלוך. לעומת זאת, ניקוי החממות בעלות הכיסויים הגמישים, כגון יריעות פוליאתילן. נעשה באופן ידני ומחייב לפחות שני עובדים. הספקי העבודה בשיטה זו נמוכים ובשל החוסר בידים עובדות, המגדלים נמנעים מלנקות את כיסוי החממות באופן תדיר אלא לעיתים רחוקות, על אף ההכרה בחשיבות הנושא.

בהולנד קיימים כבר לא מעט שנים מתקנים המשמשים לניקוי גגות בתי הצמיחה מזכוכית, שמשלבים הברשה ושיטה, באופן אוטומטי. בין אלה יש אמצעים "פשוטים" המופעלים ומוסעים ע"י מפעיל צמוד, בגלל ריבוי הדגמים של בתי הצמיחה הקיימים בארץ, (על שלל מידותיהם: רוחב, גובה וכו'), אופיין ותצורת חתך הגג יכולה להיות סימטרית או אסימטרית, בגיאומטריה שונה ומגוונת, בקו קשתי חלק או גותי), אין כל אפשרות להסב ולהתאים את המכונות ההולנדיות לבתי הצמיחה שבארץ [3].

בעבר נעשו מספר ניסיונות למיכון ניקוי גגות חממות בעלות כיסויים גמישים [3, 4] אך ללא הצלחה. חוסר הצלחה זה נובע בעיקר בשל צורתו המשתנה של הכיסוי הן בציר האורך והן בציר הרוחב של הגמלון, ובשל גמישותה של יריעת הכיסוי המונעת מגע טוב באופן רציף עם אמצעי הניקוי.

עם זאת, עבודות אלה הראו שבכדי לנקות את היריעה חייבים לבצע פעולת שפשוף ע"י מברשת, מטלית או כל אמצעי שפשוף אחר [4], וזאת מאחר והלכלוך נדבק ליריעה ויש צורך בפעולה מכאנית להסרתו. מצד שני היריעה עצמה הנה גמישה ועדינה וביצירת לחץ עליה ע"י אמצעי הניקוי – היא שוקעת. כמו כן יש צורך לבצע את פעולת הניקוי בצורה עדינה ביותר בכדי לא לשרוט או לקרוע את היריעה. על מנת לשמור על שקיפות היריעות, פעולת הניקוי צריכה להתבצע באופן רוטיני כל מספר שבועות. כמצוין, הבעיה בניקוי היריעות מתמקדת בכך שרדיוס כיסוי קשת הגמלון משתנה בין קשת לקשת דבר שמחייב את המתקן לנוע במסלול המלווה בעלויות וירידות אך בה בעת עליו לשמור על מגע עדין עם היריעה.

מטרות המחקר

המטרת הכוללת של העבודה הנוכחית הינה פיתוח מתקן לניקוי היריעות שיפעל באופן עצמאי וללא פגיעה ביריעה הגמישה. במסגרת זו, בהצעה זו הצבנו את היעדים הבאים:

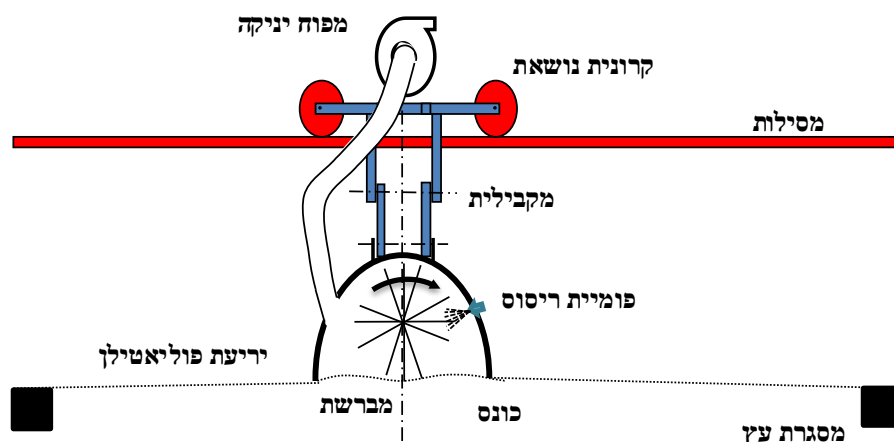
1. פיתוח ראש הניקוי המבוסס על הצמדת היריעה לאמצעי הניקוי באמצעות תת-לחץ
2. בחינת משתני התכנון (מהירות סיבוב, מהירות התקדמות, תת לחץ וכדומה)
3. תכנון ובניית אב טיפוס של מערכת נשיאה והסעה לגמלון אחד נבחר (טיפוסי).
4. בחינת התכנות

מהלך העבודה

כמתוכנן, העבודה השתרעה על שנתיים בלבד. בשנה הראשונה העבודה התמקדה באפיון המשתנים של ראש הניקוי, על פי רמת הניקוי שהתקבלה בפועל. בהתבסס על כך, העבודה בשנה השנייה התמקדה בפיתוח ובחינת מתקן הניקוי ומערכת ההסעה לצורך בחינת ההיתכנות בתנאים מעשיים.

מתקן ניקוי ניסיוני – כמתואר באיור 1, המתקן הניסיוני המורכב מראש הניקוי, מקבילית, קרונית נושאת, מסילות הותקן על פי המתכונת הבאה:

1. מברשת ניקוי – סיבים מפוצלים מפוליפרופילן, בקוטר 30 ס"מ ובאורך 1 מטר. המברשת מונעת באמצעות מנוע חשמלי המוזן באמצעות משנה תדר. מהירות הסיבוב שנבחנה הייתה בתחום 30 עד 120 סל"ד.
2. כונס – עשוי מ-PVC מטעצי משקל.
3. מפוח יניקה – ליצירת תת לחץ להידוק ולהרחקת הליכלוך (בדומה לשואב אבק). הבחינה נעשתה בשתי דרגות של תת לחץ: 25 ו- 50 מ"מ מים.
4. פומיית ריסוס – להתזת מים לניקוי ברטוב.
5. מקבילית – להנעת ראש הניקוי בניצב ליריעה.
6. קרונית נשיאה – להנעת ראש הניקוי לאורך היריעה באמצעות נסיעה על המסילות.
7. מסגרת עץ – עליה נמתחה והותקנה יריעת הפוליאטילן לניקוי. הוכנו מספר מסגרות שאיפשרו ביצוע מספר ניסיונות בכל יום.



איור 1. תאור סכמתי של המתקן הניסיוני לבחינת ביצועי ראש הניקוי

הניסיונות נערכו על יריעות הפוליאטילן בעובי 160 מיקרון אשר הותקנו על מסגרת עץ במידות 1.2 * 2.4 מטר.

יריעות הפוליאטילן הממוסגרות רוססו במרסס צבע פניאומאטי ב 150 גרם חול שעבר ייבוש וניפוי לגודל 50 מיקרון ו- 50 סמ"ק מים, וזאת בכדי לקבל לכלוך אחיד ככל האפשר של היריעות הממוסגרות בכל החזרות. הניסיונות נערכו כתלות בשני משתנים עיקריים:

1. לחץ יניקה – הניסיונות נערכו בשני תתי לחצים 28 ו- 50 מ"מ מים
 2. יחס בין מהירות היקפית של המברשת למהירות ההתקדמות (V_r).
- תחילה נערכו 5 ניסיונות ב- V_r קבוע השווה ל- 0.42 המתקבל במהירות סיבוב ונסיעה שונים, כמפורט בטבלה 1. כמו כן, נערכו ניסיונות בחמישה ערכי V_r (כמפורט בטבלה 2) ובשני תתי לצי יניקה (28 ו- 50 מ"מ מים).

טבלה 1. ערך V_r קבוע במהירות סיבוב והתקדמות שונים.

מס' דרגה	V_r	סל"ד מברשת [rpm] [Hz]	מהירות התקדמות [M/min] [Hz]
1	0.42	27.0 (10)	4.3 (10)
1	0.42	48.8 (20)	8.9 (20)
1	0.42	73.2 (30)	13.4 (30)
1	0.42	97.7 (40)	18.0 (40)
1	0.42	121.0 (50)	22.6 (50)

טבלה 2. ערכי מקדם V_r בהתאם למהירות סיבוב המברשת ומהירות ההתקדמות

מס' דרגה	V_r	סל"ד מברשת [rpm] [Hz]	מהירות התקדמות [M/min] [Hz]
1	0.12	27.0 (10)	22.6 (50)
2	0.29	40.4 (16)	12.5 (28)
3	0.46	59.3 (24)	8.9 (20)
4	0.63	92.5 (38)	7.0 (16)
5	0.8	121.0 (50)	4.3 (10)

הניסיונות בוצעו בין השעות 11:00 ל- 13:00 לקבלת אחידות בערכי הקרינה ובזווית השמש בימי ביצוע הניסיונות. מתחת ליריעה הממוסגרת הותקנו 2 חיישני קרינת שמש וחיישן אחד מחוץ למתקן למדידת קרינת השמש ללא כל הפרעה. ערכי הקרינה נמדדו אחת לשנייה למשך 20 שניות לקראת הניקוי ומייד לאחריו ובהתאם לכך חושב הערך

הממוצע. בכפוף לכך חושב השיפור במעבירות היריעה כתוצאה מפעולת הניקוי. כל הניסויים נערכו ב- 3 עד 5 חזרות ובשני שלבים: ניקוי יבש וניקוי רטוב.

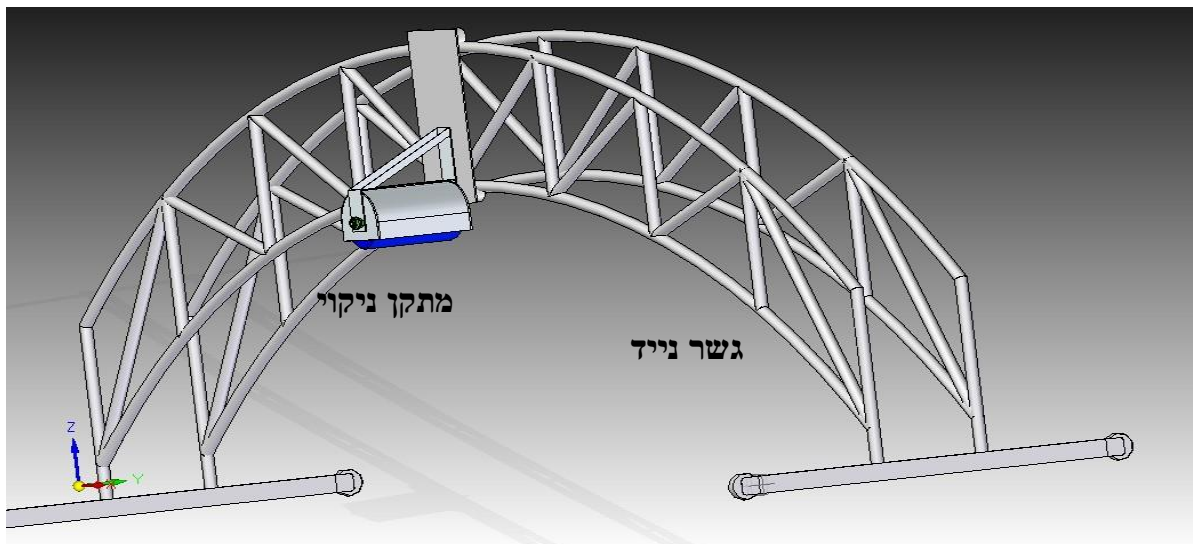
על בסיס זה, העבודה בשנה השנייה התמקדה בעיקר בפיתוח מערכת ההסעה ובחינת היתכנות של המכלול הכולל בתנאים מעשיים. כמתואר באיור 2, המכלול מורכב מהגשר מונע וממתקן הניקוי. הגשר הוא בבחינת סולם או פיגום הממוקם מעל גמלון החממה, הנוסע לאורך החממה, המשמש כמקום מוגן ובטיחותי עבור העובדים וכנשא של כלים ייעודיים, ככלל ומתקן הניקוי בפרט. מתקן הניקוי מותקן על הגשר ונוסע על גביו לרוחב הגמלון. בכך, ניתן להגיע לכל נקודה על פני כיסוי הגג. המשך העבודה באשר למתקן הניקוי התמקדה בעיקר בהתאמתו לגשר מחד גיסא ופיתוח מערכת הנעה וחישה במגמה לעקוב אחר תצורת היריעה המורכבת ותוך כדי נסיעה. זאת, על מנת לשמור על מגע מלא של ראש הניקוי, שמירת תת הלחץ בכונס וניקוי טוב. כמתואר באיור 3, מתקן הניקוי הותאם לגשר באמצעות קרונית הסעה אנכית (במקום אופקית שמתקן הניסויי ששימש בשנה הראשונה – ראה למעלה), מקבילית צידית (לעומת אנכית), בוכנה חשמלית המניעה את ראש הניקוי בניצב ליריעה וחיישני קירבה. שינויים אלה נועדו להקנות למתקן הניקוי תנועה תוך כדי שמירה על מגע מתמיד עם היריעה לשמירת תת הלחץ בכונס מחד גיסא, ולאפשר מעבר מכשולים כגון קשתות החממה וקורות קודקוד, ללא פגיעה ביריעה, מאידך גיסא. משמעות הדברים היא הנמכת ראש הניקוי לכדי מגע והיווצרות תת לחץ ומכאן, הגבהת ראש הניקוי.

בנוסף לכך ולאור תוצאות השנה הראשונה, הכונס תוכנן כך שיהיו חריצים לכניסת אוויר להרחקת הליכלוך. לצורך בחינת ההיתכנות של מכלול זה המתקנים תוכננו והותקנו ע"פ המפרט הבא:

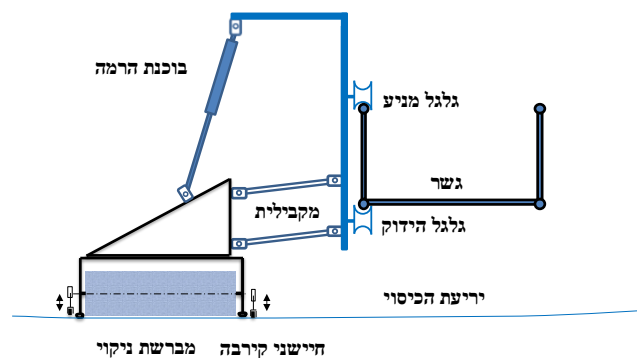
1. גמלון חממה – מפתח של 8 מטר ו 12 מטר אורך בעל 4 קשתות, מרזבים בגובה נמוך של 0.75 מטר (מטמי נוחיות בלבד), הגמלון כוסה ביריעה בעובי 0.15 מ"מ.
2. גשר נייד – כמתואר באיור 2, תוכנן ונבנה גשר נייד בעל שלבים בדומה לסולם ברדיוס הגדול בכ- 0.3 מטר מרדיוס גמלון החממה, בעל מעקה משני צידיו. הגשר נתמך על שתי קורות רוחב עם ארבעה גלגלים ששניים מהם (אחד בכל צד) מונעים ומתנייד על מרזבי החממה.
3. קרונית הסעה של מתקן ניקוי – כמתואר באיור 3, תוכננה קרונית הסעה אנכית בעלת שלושה גלגלים מצופים בגומי להגברת החיכוך כאשר שני הגלגלים העליונים ממוקמים על קשת עליונה של הגשר, משמשים להנעה במקביל וגלגל שלישי הממוקם מתחת לקשת התחתונה ומשמש להידוק באמצעות קפיץ, להבטחת הצמדה טובה של הגלגלים המניעים. מהירות התקדמות המתקן נקבעה ל 5 עד 15 מטר לדקה, באמצעות ווסת תדר.
4. ראש הניקוי – מברשת גלילית באורך 0.5 מטר וקוטר 0.3 מטר (מהירות סיבוב של 30 עד 120 סל"ד באמצעות ווסת תדר), עם כונס קל (פוליפרופילן קשיח), מפוח יניקה שהופעל בתת לחץ של 40 מ"מ מים, ראש הניקוי המחובר לקרונית ההסעה באמצעות ארבעה מוטות מקבילים (מקבילית) ממסבים שאפשרו תנועה מעלה ומטה של מתקן הניקוי תוך שמירה על מקבילות המברשת ליריעה, הקרבת ראש הניקוי ליריעה נעשה בעזרת בוכנה חשמלית זו כיוונית שהותקנה בחלקו העליון של מתקן הניקוי, משני צידי הכונס הותקנו חיישני קירבה בעלי

גלגלים רכים שנעו על גבי היריעה, החיישנים בעלי שלושה מצבים: א. גבול עליון ב. גבול תחתון ג. אמצע, החיישנים חוברו לבקר שהפעיל את הבוכנה החשמלית אשר הניעה את ראש הניקוי כמפורט בטבלה 3. טבלה 3: מצבי ההפעלה של ראש הניקוי באמצעות הבקר (1 – הפעל 0 – הפסק).

	פקודה	חיישן 1		חיישן 2	
		גבול עליון	גבול תחתון	גבול עליון	גבול תחתון
1	לא זז	1	1	1	1
2	ירידה	0	1	1	1
3	ירידה	1	1	0	1
4	ירידה	0	1	0	1
5	עליה	1	0	1	1
6	עליה	1	1	1	0
7	עליה	1	0	0	1
8	עליה	0	1	1	0
9	עליה	1	0	1	0



איור 2. תאור סכמתי של המכלול המורכב מגשר מתנייע ומתקן ניקוי



איור 3. תאור סכמתי של מתקן הניקוי

כמובן, חיישן במצב תחתון שמשמעותו אין מגע עם היריעה התחייב הורדת ראש הניקוי ליצירת מגע עם היריעה ובניית תת הלחץ – עד השלב בו חיישן מגיע לאמצע, וההיפך.

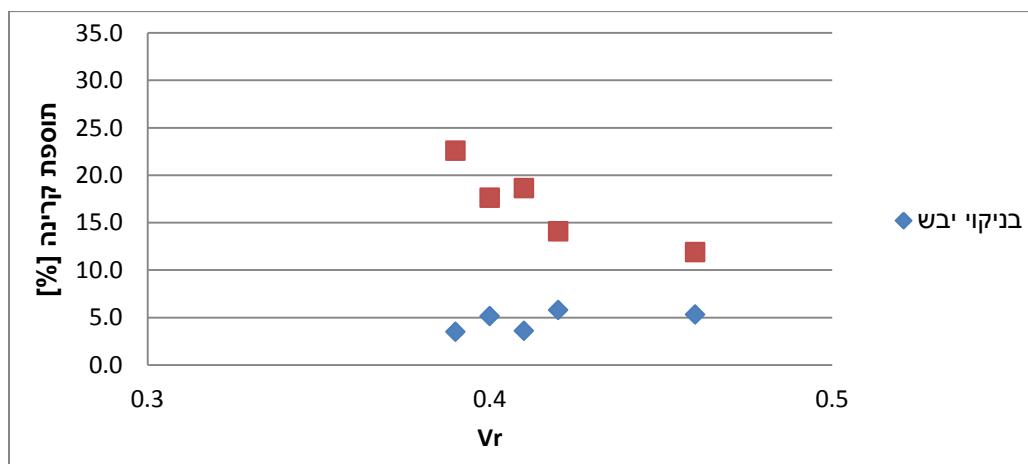
תוצאות

כמצוין, הניסיונות בשנה הראשונה נעשו ב- 3 עד 5 חזרות. התוצאות המובאות בהמשך הינם ממוצע של כל החזרות ורמת השונות המתבטאת ב- STDEV. התוצאות שהתקבלו בניסיונות ב- Vr קבוע (השווה ל- 0.42 בקירוב) המתקבל במהירות סיבוב ונסיעה שונים, מובאות בטבלה 4 ובאיור 4. על פי תוצאות אלה ניתן להצביע על:

- השיפור במעבירות היריעה כתוצאה מהניקוי הרטוב טוב משמעותית בהשוואה לניקוי היבש.
- רמת הביצועים בניקוי יבש אחידה העומדת על כ- 5% בלבד עם שונות (STDEV) קטנה.
- רמת הביצועים בניקוי רטוב אינה אחידה ועם רמת שונות גבוהה.

טבלה 4: שיפור מעבירות היריעות לקרינת שמש כתוצאה מניקוי יבש ורטוב ב- Vr קבוע בקירוב ובלחץ 28 מ"מ.

מס'	VR	סל"ד מברשת	מהירות התקדמות	וואקום	תוספת קרינה ב %		STDEV
			[מטר לדקה]	[mm]	בניקוי יבש	בניקוי רטוב	
1	0.46	27	4.3	28	5.3	11.9	1.36
2	0.42	49	8.9	28	5.8	14.1	0.81
3	0.41	73	13.4	28	3.6	18.6	0.78
4	0.4	98	18	28	5.2	17.6	2.01
5	0.39	120	22.6	28	3.5	22.6	0.9

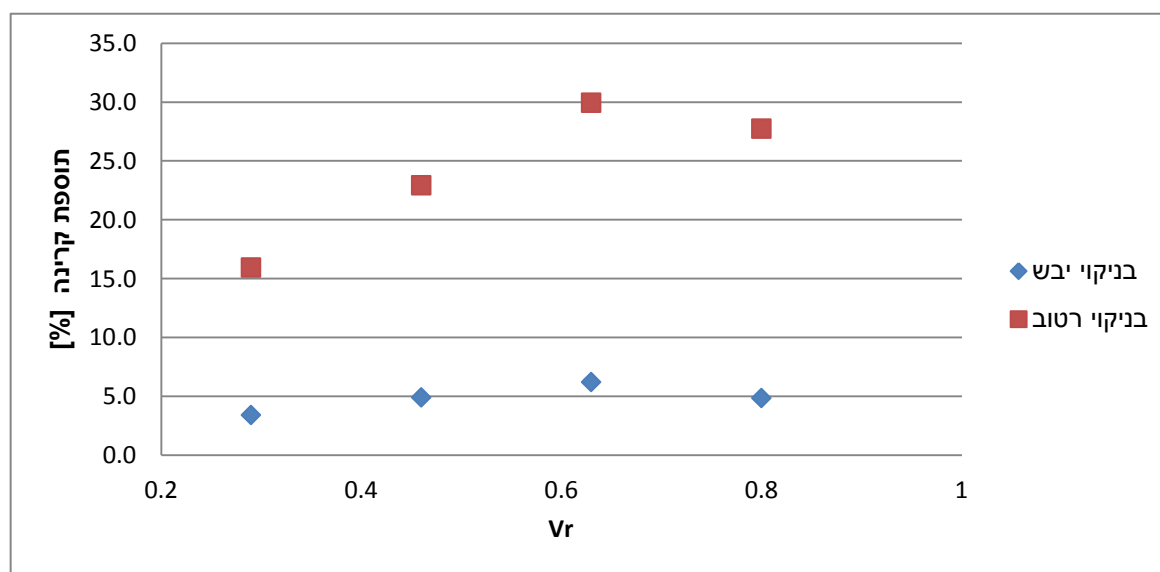


איור 4: שיפור מעבירות היריעות לקרינת שמש כתוצאה מניקוי יבש ורטוב ב- Vr קבוע בקירוב ובלחץ 28 מ"מ

תוצאות דומות לכך, התקבלו כתוצאה מניסויים שנערכו כתלות ב- Vr ובלחצים של 28 מ"מ (כמפורט בטבלה 5 ואיור 5) וב- 50 מ"מ (כמפורט בטבלה 6 ואיור 6). בנוסף לכך, נראה שניקוי רטוב ובלחץ 50 מ"מ רגיש פחות ליחס המהירויות Vr ומקנה שיפור במעבירות סביב ה- 25%.

טבלה 5: שיפור מעבירות היריעות לקרינת שמש כתוצאה מניקוי יבש ורטוב ב- Vr משתנה ולחץ של 28 מ"מ.

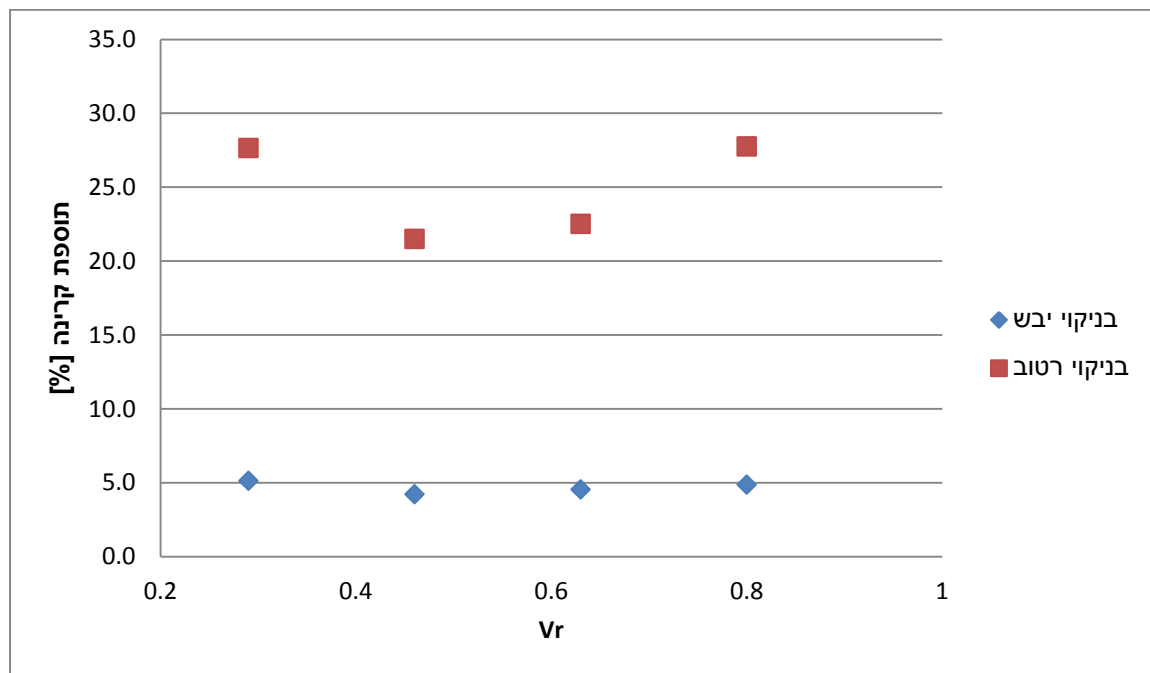
מס'	VR	סל"ד מברשת	מהירות התקדמות [מטר לדקה]	וואקום [mm]	תוספת קרינה ב %		STDEV	
					בניקוי יבש	בניקוי רטוב	בניקוי יבש	בניקוי רטוב
1	0.12	27	22.6	28	2.8	23.7	1.9	0.7
2	0.29	40	12.5	28	3.4	16.0	2.9	1.9
3	0.46	59	8.9	28	4.9	22.9	2.7	6.4
4	0.63	92	7.0	28	6.2	29.9	4.6	1.3
5	0.8	120	4.3	28	4.9	27.8	2.3	2.9



איור 5: שיפור מעבירות היריעות לקרינת שמש כתוצאה מניקוי יבש ורטוב ב- Vr משתנה ובלחץ 28 מ"מ

טבלה 6: שיפור מעבירות היריעות לקרינת שמש כתוצאה מניקוי יבש ורטוב ב- Vr משתנה ולחץ של 50 מ"מ.

מס'	VR	סל"ד מברשת	מהירות התקדמות [מטר לדקה]	וואקום [mm]	תוספת קרינה ב %		STDEV	
					בניקוי יבש	בניקוי רטוב	בניקוי יבש	בניקוי רטוב
1	0.12	27	22.6	50	3.1	24.1	1.5	3.2
2	0.29	40	12.5	50	5.1	27.6	2.1	5.5
3	0.46	59	8.9	50	4.2	21.5	1.8	4.6
4	0.63	92	7.0	50	4.5	22.5	1.1	4.6
5	0.8	120	4.3	50	4.9	27.8	2.3	2.9



איור 6: שיפור מעבירות היריעות לקרינת שמש כתוצאה מניקוי יבש ורטוב ב- Vr משתנה ובלחץ של 50 מ"מ

באשר לתוצאות השנה השנייה מובאות על פי הפירוט הבא:

גשר נייד – הגשר יציב למדי ומתנייע היטב. הנעת הגשר התבססה עמ מנועי מתח נמוך וישר (המוזנים במצברים) ותפעולם נעשה באמצעות בקר. זאת על מנת שהגשר יהיה עמצאי ויוכל לשמש למשימות רבות וביניהם ניקוי גגות. תנועת הגשר הייתה טובה ולא נצפתה כל בעיה מהותית. עם זאת, מומלץ להתקין גלגלים גדולים יותר כך שצירי

הגלגלים ואמצעי ההנעה ימוקמו מחוץ למרזב. כמו כן, יש לתכנן את הגשר מחדש תוך שימוש בחומרים קלים כגון אלומיניום.

קרונית ההסעה – הקרונית פעלה כמתוכנן ואפשרה שינוי במהירות ההתקדמות בעזרת ווסת תדר. עם זאת, נראה שבתכנון הזה (כמתואר למעלה) לוקה בחסר בשל כוחות הצד שעל הגלגלים, הגורמים למאמצים מיותרים ולבלאי מוגבר. אי לכך, מומלץ לערוך תכנון משופר עם השינויים המתבקשים.

מתקן הניקוי – מתקן הניקוי הופעל על פי המשתנים שנקבעו בשנה הראשונה ולא נצפתה כל בעיה. עם זאת וכמצוין, עיקר העבודה התמקדה בפיתוח מערכת העקיבה של ראש הניקוי. לאחר מספר נסיונות, תוך כדי כיוונים שנעשו בחייושו הקירבה ושינויים באלגוריתם של הבקרה, המערכת פעלה בצורה המניחה את הדעת. המגבלה העיקרית הייתה במהירות התגובה המתבקשת בקריבת מעבר מכשול. לצורך זה, מומלץ לשלב כחלק, מהבקרה מד לחץ ומד עומס שיאפרו עקיבה של ראש הניקוי תוך כדי משיכת היריעה כלפי חוץ – על מנת לאפשר מעבר מכשולים קל יותר.

מכלול השלם – ככלל המכלול השלם פעל בצורה תקינה והוכיח היתכנות מלאה, של הגישה והמערכות שהוצעו במסגרת עבודה זו. עם זאת וכמתואר למעלה, יש מקום לשיפורים מהותיים במרבית מרכיבי המכלול על מנת שיהווה פתרון מסחרי. אי לכך מומלץ להמשיך בעבודה בנושא זה בהתאם לכך ועם יצרן מקומי במסלול של "פיתוח משותף".

סיכום ומסקנות

לאור התוצאות שהתקבלו ניתן להצביע על המסקנות העיקריות הבאות:

- ניקוי רטוב עדיף על ניקוי יבש באופן מובהק. ניקוי רטוב מקנה שיפור במעבירות של כ- 25%.
- המכלול על מערכותיו השונות פעלו בצורה תקינה והוכיחו היתכנות מלאה של הפתרון המוצע.
- מרבית המרכיבים טעוני שיפורים מהותיים על מנת שיהוו פתרון מסחרי.
- מומלץ להמשיך את עבודת הפיתוח במתכונת של "פיתוח משותף" עם יצרן מקומי מתאים.

רשימת ספרות

1. בני אלוני, לאה קרני, אשר ברטל, רבקה אופנבך, שבתאי כהן, אילנה ולר, דודו אליקים, שבתאי כהן, ישראל צברי, יצחק פוסלסקי, 2001. הגדרת דרישות הקרינה של גידול פלפל בתנאים מוגנים בערבה. דו"ח לתוכנית מחקר 255-0614-01
2. אביתר איתאל, רבקה אופנבך, רמי גולן, ענת בארי, עדנה מצרפי, יואל טל רונן כהן, 1999. תרומת יריעות מונעות הצטברות אבק בפלפל ליצוא. מו"פ ערבה.
3. גיורה יבלונקה, 2002. ניקוי גגות של בתי צמיחה. מיכון והנדסה בחקלאות אפריל 2002 ע' 16-17
4. יצחק סקר, גדליה מנור, בוריס בורדמן, סמיון טבק, רוני אמיר, ליביו סינגר, 2003. מערכת ניקוי גגות בתי צמיחה. דו"ח מסכם, מדען ראשי משרד החקלאות.

סיכום עם שאלות מנחות

מטרות המחקר תוך התייחסות לתוכנית העבודה.

- פיתוח ראש הניקוי המבוסס על הצמדת היריעה לאמצעי הניקוי באמצעות תת לחץ
- בחינת משתני התכנון (מהירות סיבוב, מהירות התקדמות, תת לחץ וכדומה)
- תכנון ובניית אב טיפוס של מערכת נשיאה והסעה לגמלון אחד נבחר (טיפוסי)
- בחינת היתכנות

עיקרי והתוצאות.

- תוכנן ונבנה ראש ניקוי הכולל מברשת עם מערכת הנעה, הכונס נבנה מפיברגלס לקבלת חוזק מכאני רצוי ומשקל נמוך ככל האפשר, הותאמה גומייה לאטימת נקודת המגע עם היריעה וקבלת מגע רך למניעת נזק מכאני ביריעה, לתוך הכונס הוכנסו פומיות להתזת מים.
- נבנה מתקן הנעה והסעה של ראש הניקוי על מסגרות שעליהם נמתחו יריעות, היריעות רוססו באבק לקבלת שכבה אחידה ככל האפשר, ראש הניקוי הוסע על המסגרות בכל הטווחים שנקבעו (מהירות סיבוב, מהירות נסיעה, רמות וואקום, עם או בלי מים).
- הפעלת מערכת הניקוי בתנאים מעשיים, הראתה שנסיעת ראש הניקוי במהירויות משתנות הייתה תקינה כמו כן מערכת העקיבה של ראש הניקוי אחר היריעה פעלה כמתוכנן ולא נצפתה פגיעה ורמת הניקוי נתקבלה כמצופה.

מסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו , האם הושגו מטרות המחקר לתקופת הדו"ח?

- ניקוי רטוב עדיף על ניקוי יבש באופן מובהק הגורם לשיפור במעבירות של כ- 25%.
 - הפתרון המוצע עבר את מבחן ההיתכנות בהצלחה מלאה.
 - מרבית המרכיבים טעוני שיפורים מהותיים, על מנת שיהוו פתרון מסחרי.
 - מומלץ להמשיך את עבודת הפיתוח במתכונת של "פיתוח משותף" עם יצרן מקומי מתאים.
- בעיות שונתרו לפתרון ו/או השינויים (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים) שחלו במהלך העבודה, התייחסות המשך המחקר.**

- העבודה התבצעה על פי המתוכנן וכל היעדים הושגו.

הפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח : פרסומים בכתב – ציטט ביבליוגרפיה כמקובל בפירסום מדעי ;

- עדיין לא בצורה מסודרת.

פרסום הדו"ח : אני ממליץ לפרסם את הדו"ח : (סמן אחת האופציות)

ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)

חסוי – לא לפרסום: יש לצרף אישור ומידע ממוסד המחקר