

# פיתוח אומדני תצרוכת מים ומדדי השקיה, מבוססים על נוסחת פנמן-מונטית, לגידול פלפל בבתי רשת וחממות

דוח עונה 2017/18

יוסף טנאי, שבתאי כהן - המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מינהל המחקר החקלאי  
אפרים ציפילבניץ, זיוה גלעד, אחיעם מאיר - מו"פ בקעת הירדן  
דוד סילברמן - שה"מ, משרד החקלאות.  
יצחק אסקירה, אורי אדלר - מועצת הצמחים.

## תקציר

הצגת הבעיה: בשנים האחרונות התרחב בארץ גידול פלפל בבתי רשת, והשטח הנוכחי של גידול פלפל מוגן איכותי ליצוא בחורף עומד על מעל 20,000 דונם בערבה ובבקעת הירדן. כיום יש בארץ ובעולם ידע רב על דרישות ההשקיה של גידולים חשופים, אשר מתבססת על התאדות פוטנציאלית מנתונים מטאורולוגיים או גיגית, מותאמים למצב הגידול. לעומת זאת הידע על השקיה של גידולים מכוסים מועט, ומוגבל למספר גידולים באזורים ספציפיים.

מטרות המחקר: (א) פיתוח אומדני תצרוכת מים של פלפל בבית רשת ובחממה תוך שימוש במודל מסוג פנמן-מונטית שיותאם לבתי הגידול שייבדקו. (ב) קביעת מקדמי ההשקיה לפלפל בבתי רשת וחממות, לפי התאדות יחוס מחושבת לפי נוסחת פנמן-מונטית FAO56 ולפי המודלים המותאמים שיפותחו במחקר זה, על בסיס תנאי אקלים פנימיים וחיצוניים, תוך השוואה למקדמי ההשקיה של פלפל ללא רשת. שיטות עבודה: הניסוי בוצע בתחנת צבי במו"פ בקעת הירדן בשש מנהרות עבירות (רוחב המנהרה 10 מ' ואורך 45 מ'). שתילי פלפל זן גלעד נשתלו ב-4/8/17 מבנים שנבחנו: 3 מבנים "חמרשת" – החלפת כסוי רשת 50 מאש לכסוי פלסטיק בחורף; 3 מבנים בית רשת - כסוי רשת, 17 מאש, קבוע כל משך העונה. במבנה אחד מכל סוג ניתנה השקייה אחידה ושני מבנים נוספים הופעלו 4 טיפולים של רמות השקייה. פרט לטיפול המשקי נבחרו טיפולים המבוססים על מודל פנמן פנימי או חיצוני שהיו בהתאמה טובה עם מדידות זרימת מים בגבעול.

תוצאות עיקריות לתקופת הדו"ח: המודל בעל מתאם גבוה בין מודל למדידה היה PMrb, המבוסס על תנאים מיקרו-מטאורולוגיים פנימיים והתנגדות שכבת הגבול. בסיכום של שנתיים בהם נבחנו הטיפולים, מנת ההשקיה בטיפול לפי מודל פנמן פנימי הייתה נמוכה ב- 27% בחמרשת ו-17% בבית הרשת ביחס להשקיה המשקית. לא נמצא הבדל מובהק ביבול בין טיפולים אלה, כלומר, ניתן להגדיל את יעילות השימוש במים.

מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות: בחינה של מודלים שונים מאפשרת בחירה של מודל מתאים ביותר לכל סוג של מבנה. נראה שניתן להפחית את מנת ההשקייה ללא פגיעה ביבול ע"י השקיה לפי תנאים פנימיים בתוך המבנה.

בשנים האחרונות התרחב בארץ גידול פלפל בבתי רשת, והשטח הנוכחי של גידול פלפל מוגן איכותי ליצוא בחורף עומד על מעל 20,000 דונם בערבה ובבקעת הירדן. מקובל להשתמש בסוגים שונים של רשתות, החל מרשת צפופה, 50-מש, למניעת חדירת מזיקים, דרך רשת ארוגה פנינה, 15% צל, ועד רשת צל שחורה, המיועדות להפחתת הקרינה ועומס החום בעונות החמות. מגדלים בארץ בעיקר בשני סוגי בתי גידול:

1. בית רשת בנוי מרשת חיצונית קבועה (רשת נגד חרקים או לשיפור תנאי אקלים) ובנוסף רשת צל מתחתיה או מעליה בתקופות החמות יותר;
2. חמרשת - בית צמיחה מכוסה רשתות בתחילת העונה ובסופה, כאשר בתחילת נובמבר מוחלפת הרשת בפוליאתילן לתקופת החורף.

השפעות הכיסוי על המיקרואקלים מגוונות, ותלויות בעיקר במאפייני הכיסוי (סוג החומר, צבעו, תצורת המבנה והגג) ובגידול. כל המחקרים שנעשו עד היום הצביעו על כך שכיסויים מפחיתים את הקרינה ומהירות הרוח בהשוואה לגידול חשוף, בעוד שהממצאים על שינויים בטמפרטורה ולחות האוויר כתוצאה מכיסוי הגידול אינם חד משמעיים (Tanny, 2013).

כיום יש בארץ ובעולם ידע רב על דרישות ההשקיה של גידולים חשופים, אשר מתבססת על התאדות פוטנציאלית מנתונים מטאורולוגיים או גיגית, מותאמים למצב הגידול בעזרת מקדמים אמפיריים לשטח פתוח והיזון חוזר מטנסיומטרים בקרקע או לזימטרים במצע מנותק. לעומת זאת הידע על השקיה של גידולים מכוסים מועט, ומוגבל למספר גידולים באזורים ספציפיים (Möller, Tanny, Li, & Cohen, 2004) (Moratíel & Martínez-Cob, 2012).

דרישות ההשקיה של גידולים חקלאיים נקבעות לפי מספר גורמים: סוג הגידול, המיקרואקלים, סוג הקרקע ואיכות המים. הגידול תחת רשת משנה את המיקרואקלים של הצמחים, ומספר מחקרים קודמים הראו שינויים אלה וכן את האפשרות של הגדלת יעילות השימוש במים תחת רשתות (Josef Tanny, 2013). לדוגמה, במחקר שערכנו בגידול בננה בבתי רשת בעמק הירדן (טנאי וחובריו, דו"ח מסכם 304-0285, 2009) מצאנו כי ניתן להפחית את ההשקיה בכ- 30%, בהשוואה לגידול חשוף, וזאת ללא פגיעה משמעותית ביבול, ועם שיפור באיכות. ממצאי מחקר זה משמשים היום כהנחיות השקיה למגדלי בננה באזור. מחקר אחר שביצענו במטע תפוח מכוסה ברשת (דו"ח מסכם למדען הראשי מס' 304-0326, 2011) הראה שבמנת ההשקיה המרבית הייתה הפחתה של כ- 10-15% בקצב זרימת המים בגזע של עצים מכוסים לעומת עצים חשופים, ללא הבדל ביבול. במחקר שביצענו בכרם ענבי מאכל מכוסה ברשת בבקעת הירדן (Pirkner, Dicken, & Tanny, 2014), נמדדה האופוטורנספירציה של כלל הגידול, והתוצאות הושוו עם מספר מודלים ממשפחת פנמן-מונטית. המודל שהיה בהתאמה הטובה ביותר עם המדידות, הוצג כמודל המומלץ לחיזוי האופוטורנספירציה בתנאים שנבדקו. במחקר שערכה קבוצת המחקר שלנו על תצרוכת המים של פלפל בבית רשת 50 מש פותח מודל פנמן-מונטית מותאם לבית הרשת והערכים המחושבים היו בהתאמה טובה עם המדידות (Möller et al., 2004). תצרוכת המים לגידול פלפל חשוף בתנאי אקלים חיצוני חושבה באופן תיאורטי. הממצאים הראו כי בגידול המכוסה האופוטורנספירציה הייתה נמוכה בכ- 50% בהשוואה לערך המחושב לגידול החשוף.

במחקרים קודמים השתמשנו במספר מודלים לחיזוי השפעת האקלים על התאדות ייחוס. אפילו שהמודלים כולם מטפלים בכל האספקטים הרלוונטים באופן תיאורטי, החיזויים שלהם שונים. לכן, יש צורך לקבוע באופן אמפירי, איזה מודל מעריך יותר טוב את הצריכה של הגידול הספציפי במבנה נתון.

## מטרות המחקר

- א. פיתוח אומדני תצרוכת מים של פלפל בבית רשת ובחממה תוך שימוש במודל מסוג פנמן-מונטית' שיותאם לבתי הגידול שייבדקו.
- ב. קביעת מקדמי ההשקיה לפלפל בבתי רשת וחממות, לפי התאדות יחוס מחושבת לפי נוסחת פנמן-מונטית' FAO56 ולפי המודלים המותאמים שיפותחו במחקר זה, על בסיס תנאי אקלים פנימיים וחיצוניים, תוך השוואה למקדמי ההשקיה של פלפל ללא רשת.

## מהלך המחקר ושיטות עבודה

הניסוי בוצע בתחנת צבי במו"פ בקעת הירדן בשש מנהרות עבירות (רוחב המנהרה 10 מ' ואורך 45 מ'). הכנת שטח – משתת בערוגות הקיימות, פיזור 3 מ"ק/ד', קומפוסט זבל בקר, שטיפה של 100 מ"ק/ד' בהמטרה, תיחוח, פריסת פלסטיק שקוף על כל השטח לצורך חיטוי סולרי והזרמת אדיגן בערוגות (באמצעות שלוחות הטפטוף). שתילה 10/8/17, זן – גלעד (הזרע סידס).

**מנהרות 1,2,3** – גידול במתכונת בית רשת כל העונה. בשתילה, מנהרות 1,2,3 כוסו ברשת 17 מאש ורשת 40% צל שחורה. רשת הצל הוסרה ב- 1/9/17. ב- 1/3/18 הותקנה רשת צל 40% על רשת- 17 מאש.

**מנהרות 4,5,6** – גידול במתכונת חמרשת כל העונה. בשתילה מנהרות 4,5,6 כוסו ברשת 50 מש ורשת 40% צל שחורה. רשת הצל הוסרה ב- 1/9/17. ב- 2/11/17 הוחלפה הרשת מאש ביריעת פלסטיק במבני החמרשת (4,5,6). ב- 1/3/18 הוחלף הפלסטיק ברשת 50 מש+ רשת 40% צל.

**טיפול השקיה:** במבנים 1,2 (רשת) ו-6,5 (חמרשת) – הופעלו ארבעה טיפולי השקיה לפי טבלה 1:

### טבלה 1: טיפולי ומקדמי ההשקיה במהלך העונה בשני סוגי המבנים

טיפול	מקדמי השקיה	בית רשת מקדם השקיה*		חמרשת – מקדם השקיה*	
		מרץ עד אמצע מאי	אוקטובר עד סוף פברואר	מרץ עד אמצע מאי	אוקטובר עד סוף פברואר
1 פנמן חיצוני משקי	0.8	1.1	0.8	1.1	0.8
2 פנמן חיצוני שעתי 16/17	0.74	0.74+20%	0.72	0.72+20%	0.72
פנמן חיצוני שעתי 17/18	0.74	0.74	0.72	0.72	0.72
3 פנמן פנימי	0.79	0.79+20%	0.7	0.7+20%	0.7

- מקדמי ההשקיה לטיפולים 2,3 ו-4 נקבעו לאור תוצאות שנאספו בניסוי בעונה 2015/16. במבנים 4 (חמרשת) ו-3 (בית רשת) – הופעלה השקיה אחידה כל העונה לפי הנוהל המסחרי (טיפול 1). הטיפולים הופעלו בשלוש ערוגות מרכזיות (מתוך 5 ערוגות) בכל מבנה: אורך חלקת טיפול 7 מ', אורך חלקה לקטיפה 4 מ'. הטיפולים הופעלו ב- 10/10/17 לאחר סיום חנטה של גל ראשון. כל טיפול הופעל ב- 8 חזרות (4 חזרות בכל מבנה). כמויות המים המצטברות שניתנו כהשקיה בכל טיפוס מבנה וטיפול מוצגות בטבלה 2.
- טבלה 2: כמויות מים שניתנו בפועל לפי הטיפולים בשנה ג' (מ"ק/ד')**

טיפול השקיה	כמויות מים במ"ק/ד' 16/8/17-10/5/18	
	בית רשת*	חמרשת
פנמן חיצוני משקי	831	798
פנמן חיצוני שעתי	626	659
פנמן פנימי לפי רגשי המדידה במבנה +20% מקדם שטיפה החל מחודש מרץ	700	598
פנמן פנימי לפי רגשי המדידה במבנה	651	578

לבית הרשת יש להוסיף גשם שנמדד - 100 מ"מ.

**נתונים מיקרו-מטאורולוגיים**

בכל טיפוס מבנה הוצבו חיישנים מיקרומטאורולוגיים לחישוב אוופטרנספירציה לפי נוסחת פנמן-מונטית'. הוצב מד רוח אולטרא-סוני תלת צירי, חיישני טמפרטורה ולחות אוויר, מד קרינה נטו ומד קרינה גלובאלית. החיישנים הוצבו בגובה 3.4 מ' (כ – 2 מ' מעל מישור העתקת האפס (zero plane displacement), כפי שנדרש בנוסחת פנמן-מונטית'. החיישנים מדדו ברציפות, בתקופה 2018.5.26-2017.10.11 (כ-7 חודשים). נערכה מדידה כל שניה, וערכים ממוצעים של 10 דקות נרשמו על אוגר נתונים. נמדדה זרימת מים בגבעולי הצמחים באותם מבנים עם המדידות המטאורולוגיות. הזרימה נמדדה בשיטת Heat-Pulse, ב – 12 צמחים בכל מבנה. המדידה נערכה בתקופה 2018.5.14-2018.1.4 עם החלפה אחת של חיישנים בין 2018.3.27-2018.3.21. נתונים מטאורולוגיים חיצוניים נלקחו מתחנה של השירות המטאורולוגי הנמצאת כ – 200 מ' מאתר הניסוי.

טבלה 3 מציגה את סיכום נתוני הרגרסיות הליניאריות בין נתונים מטאורולוגיים פנימיים וחיצוניים.

טבלה 3 – סיכום נתוני הרגרסיות הליניאריות בין נתונים מטאורולוגיים פנימיים וחיצוניים. הנתון החיצוני בציר X והפנימי בציר Y. הנתונים הם עבור התקופה: 1.1.18 - 1.3.18 (כחודשיים).				
מספר נקודות	r <sup>2</sup>	חותך	שיפוע	Relation in-out (Out is X-axis)
8490	0.98	0.93	0.84	Radiation GH (Wm-2)
8490	0.99	1.14	0.81	Radiation SC (Wm-2)
8490	0.20	0.02	0.11	Wind speed GH (ms-1)
8490	0.78	-0.08	0.52	Wind speed SC (ms-1)
8490	0.82	-8.4	1.67	Temperature GH (°C)
8490	0.91	2.1	0.92	Temperature SC (°C)
8490	0.59	45.7	0.63	RH GH (%)
8490	0.97	5.5	0.91	RH SC (%)

טבלה 3 מציגה את הקשרים בין משתנים מטאורולוגיים פנימיים וחיצוניים. כמו בשנים הקודמות, הטבלה מראה כי בכל המשתנים, מקדם המתאם בין פנים לחוץ היה גבוה יותר בבית הרשת (SC) לעומת החמרשת (GH). זאת, כצפוי, עקב האינטראקציה הגבוהה יותר בין בית הרשת לסביבה החיצונית בהשוואה לחמרשת בה הסביבה הפנימית מבודדת יותר מהחיצונית עקב כיסוי הפלסטיק.

**השוואה בין מדידת זרימת המים בגבעול למודלים**

בשנה ג' נערכו מדידות זרימת מים בגבעול בתקופה עם רשת צל וללא רשת צל מעל למבנה. לכן טבלאות ההשוואה חולקו לשתי תקופות. תוצאות ההשוואה בין המדידות למודלים השונים מרוכזות בטבלאות 4-7 להלן. הטבלאות מציגות (משמאל לימין): יחס יומי ממוצע בין ערך מדוד למחושב, סטיית התקן של ממוצע זה, מקדם המתאם R<sup>2</sup> עבור הרגרסיה בין ערך יומי מדוד למחושב, מקדם Nash-Sutcliff Coefficient (NSC), (J Tanny et al., 2008), שכלל שערכו קרוב יותר ל – 1 ההתאמה טובה יותר, מקדם השיפוע Cf של הרגרסיה הליניארית בין המדידה למודל, ומקדם NSC מתוקן לאחר יישום מקדם הרגרסיה.

SC w/o shading screen							טבלה 4 : בית רשת ללא רשת צל – 23 ימי מדידה.
Model	Avg. ratio ET/HP	STDV	r2	NSE	Cf	NSE Cor	
ET0 Day	2.23	0.49	0.59	-10.81	0.44	0.10	
ET0 h	2.11	0.41	0.7	-9.00	0.47	0.31	
ET0 in	1.73	0.29	0.8	-3.84	0.59	0.30	
PM sc	2.02	0.32	0.70	-8.75	0.49	0.07	
PM	2.24	0.36	0.68	-14.72	0.44	-0.27	
PM pt	2.19	0.51	0.02	-8.89	0.58	-0.33	
PM rb	2.13	0.38	0.68	-9.96	0.46	0.29	

  

SC w/shading screen							טבלה 5 : בית רשת עם רשת צל – 23 ימי מדידה.
Model	Avg. ratio ET/HP	STDV	r2	NSE	Cf	NSE Cor	
ET0 Day	2.31	0.88	0.67	-11.50	0.49	0.67	
ET0 h	2.20	0.57	0.7	-11.65	0.49	0.70	
ET0 in	0.99	0.23	0.7485	0.72	1.07	0.76	
PM sc	1.74	0.47	0.23	-5.38	0.77	-0.76	
PM	1.23	0.28	0.8	0.42	0.86	0.58	
PM pt	1.24	0.31	0.75	0.40	0.98	0.48	
PM rb	1.37	0.44	0.80	0.01	0.79	0.81	

  

GH w/o shading screen							טבלה 6 : חמרשת ללא רשת צל – 24 ימי מדידה.
Model	Avg. ratio ET/HP	STD V	r2	NSE	Cf	NSE Cor	
ET0 Day	1.68	0.33	0.48	-4.93	0.58	0.490	
ET0 h	1.58	0.22	0.71	-3.32	0.62	0.729	
ET0 in	1.36	0.29	0.487	-1.25	0.73	0.474	
PM sc	1.74	0.22	0.7895	-5.93	0.57	0.733	
PM	1.54	0.32	0.427	-3.40	0.64	0.402	
PM pt	1.84	0.42	0.06	-8.32	0.58	0.304	
PM rb	1.55	0.28	0.67	-3.21	0.64	0.621	

  

GH w/shading screen							טבלה 7 : חמרשת עם רשת צל – 23 ימי מדידה.
Model	Avg. ratio ET/HP	STDV	r2	NSE	Cf	NSE Cor	
ET0 Day	2.76	1.14	0.76	-23.87	0.40	0.73	
ET0 h	2.60	0.81	0.4	-23.37	0.40	0.81	
ET0 in	1.08	0.34	0.8065	0.80	0.97	0.81	
PM sc	2.05	0.42	0.208	-12.74	0.63	-0.45	
PM	1.28	0.34	0.81	0.33	0.86	0.31	
PM pt	1.43	0.48	0.75	-0.74	0.82	0.61	
PM rb	1.45	0.50	0.89	-0.47	0.73	0.89	

ככלל, בשני סוגי המבנים, עם רשת 40% צל התקבלו מקדמי NSEcor גבוהים יותר מאשר ללא רשת צל. בחממה ובבית רשת עם רשת צל, NSEcor הגבוה ביותר, 0.89 ו-0.81, בהתאמה, התקבל עבור מודל PMrb. יחס יומי ממוצע טוב ביותר (הכי קרוב ל-1) התקבל בכל התקופות ע"י מודל ET0in. יחס זה מציג מידת התאמה כלל תקופתית. בבית רשת ללא רשת צל התקבלו מקדמי NSEcor, נמוכים מסיבה לא ברורה. בחמרשת ללא רשת צל, מודל PMsc, נתן מתאם גבוה אך זה מודל קשה לתפעול ולא מומלץ לשימוש יומי-יומי ע"י החקלאים. הבא אחריו הוא מודל ET0 h, שמבוסס על ערכים שעתיים.

## יבול

החלקה נקטפה החל מ-2/11/17 עד 2/5/18 סה"כ 14 קטיפים. הפרי מוין לפי המקובל. בחמרשת, פוטנציאל היבול מהטיפול שקיבל מים לפי הנחיות מסחריות גבוה במובהק מהטיפולים האחרים. בבית רשת מתבטא הבדל מובהק רק בין הטיפול המסחרי לעומת הטיפול שקיבל מים לפי נתוני פנמן שעתי. נתוני היבול מוצגים בטבלה 8.

טבלה 8: נתוני יבול בבית רשת וחמרשת				
משקל פרי ג'	שוק מקומי (ק"ג/מ"ר)	יצוא (ק"ג/מ"ר)	כללי (ק"ג/מ"ר)	בית רשת
196	0.55	11.2 א	11.8 א	פנמן חיצוני משקי
189	0.50	10.1 ב	10.6 ב	פנמן חיצוני שעתי
193	0.58	10.5 אב	11.1 אב	פנמן פנימי +20% מקדם שטיפה החל מחודש מרץ
191	0.41	10.6 אב	11.0 אב	פנמן פנימי

משקל פרי ג'	שוק מקומי (ק"ג/מ"ר)	יצוא (ק"ג/מ"ר)	כללי (ק"ג/מ"ר)	חמרשת
180	0.41	11.7 א	12.1 א	פנמן חיצוני משקי
181	0.29	10.3 ב	10.8 ב	פנמן חיצוני שעתי
180	70.2	10.1 ב	10.5 ב	פנמן פנימי +20% מקדם שטיפה החל מחודש מרץ
184	90.2	10.3 ב	10.7 ב	פנמן פנימי

## דיון

דוח זה מציג תוצאות מחקר שנה שלישית לתוכנית זו. לצורך דיון וסיכום כללי של המחקר בצענו סיכום כללי של טיפולי ההשקיה שחזרו בשנתיים האחרונות של המחקר. הטבלאות הבאות מציגות סיכום זה. טבלה 9 מציגה את שלושת הטיפולים שחזרו באופן זהה בשנתיים האחרונות של המחקר וטבלה 10 מציגה סיכום כולל של היבול ומנות המים לטיפולים אלה, וכן חישוב של יעילות השימוש במים המחושבת לפי היחס בין היבול הכללי (טון לדונם) למנת המים (מ"ק לדונם) לכל טיפול.

טבלה 9: טיפולי ההשקיה שחזרו בשנתיים האחרונות, ומקדמי ההשקיה שלהם					
	טיפול	בית רשת מקדם השקיה*		חמרשת – מקדם השקיה*	
		אוקטובר עד סוף פברואר	מרץ עד אמצע מאי	אוקטובר עד סוף פברואר	מרץ עד אמצע מאי
1	פנמן חיצוני משקי	0.8	1.1	0.8	1.1
2	פנמן חיצוני שעתי 16/17	0.74	0.74+20%	0.72	0.72+20%
	פנמן חיצוני שעתי 17/18	0.74	0.74	0.72	0.72
3	פנמן פנימי	0.79	0.79+20%	0.7	0.7+20%

טבלה 10: סיכום יבול וכמויות מים לשתי עונות גידול אחרונות. WUE הוא ביחידות של טון/מ"ק. חושב גם WUE אחרי שלבית הרשת הוספו 200 מ"מ מים לשנתיים עקב גשמים (בסוגריים).						
טיפול	שנת גידול	בית רשת		חמרשת		
		מים מ"ק/ד'	יבול טון/ד'	מים מ"ק/ד'	יבול טון/ד'	
פנמן /מסחרי	2016/17	841	10.1	830	10.4	
	2017/18	831	11.8	798	12.1	
סה"כ לשתי עונות		1672 (1872)	22.2±0.67	1628	22.6±0.84	
WUE		0.013 (0.012)		0.014		
פנמן שעתי	2016/17	762	11.7	778	10.4	
	2017/18	626	10.6	659	10.8	
סה"כ לשתי עונות		1388 (1588)	22.6±0.36	1437	21.1±0.54	
WUE		0.016 (0.014)		0.015		
פנמן פנימי+ 20% החל ממרץ	2016/17	692	11.1	596	10.3	
	2017/18	700	11.1	598	10.5	
סה"כ לשתי עונות		1392 (1592)	22.2±0.45	1194	20.8±0.60	
WUE		0.016 (0.014)		0.017		

ממצאי היבול ומנת ההשקיה מראים כי בשני המבנים שנבחנו, יעילות השימוש במים עולה כאשר עוברים מהשקיה לפי פנמן משקי (מסחרי) להשקיה לפי פנמן שעתי ופנמן פנימי. בבית הרשת פנמן שעתי ופנימי נתנו יעילות שימוש במים דומה, גבוהה ב- 23% מהטיפול המשקי. בחמרשת, היה יתרון לפנמן הפנימי שהגדיל את יעילות השימוש במים בהשוואה לפנמן המשקי ב-21%, והשעתי ב- 13%. יש לציין כי בחישוב של שנתיים בבית הרשת, פנמן שעתי (חיצוני) ופנמן פנימי נתנו כמויות כמעט זהות. בית הרשת נמצא באינטראקציה גבוהה עם הסביבה החיצונית ולכן דומה לפנמן השעתי. בחמרשת נמצא הבדל עקב העובדה שסביבת החמרשת מבודדת יותר מהסביבה. משמעות ממצאים אלה היא כי ניתן להגדיל את יעילות השימוש במים ע"י השקיה לפי מדדים מטאורולוגיים פנימיים שנמדדים בתוך המבנה. ממחקר שמתבצע במקביל (בדיקת איכות פרי אחרי הקטיף, פרופ' אלי פאליק, לא מוצג בדו"ח זה) ידוע לנו כי לא נמצא הבדל מובהק באיכות הפרי בין טיפולי ההשקיה. לממצאים אלה חשיבות רבה להגדלת יעילות השימוש במים. נבחנה ההתאמה בין מדידת זרימת הגזע בגבעולים של צמחי פלפל לבין 7 מודלים ממשפחת פנמן-מונטית. בבחינה זו יש להדגיש כי המדידה מייצגת את הטרנספירציה ואילו החישוב את האופוטורנספירציה מתבסס על ההנחה היא שאידוי מהקרקע נמוך, כפי שקיבלנו במחקרים קודמים בגידול פלפל בבתי רשת. הממצאים של שנה ב' הראו כי בשני המבנים, המודל בעל NSEcor הגבוה ביותר היה PMrb. בשנה ג' מודל זה נתן תוצאה מובילה כאשר המבנה כוסה ברשת צל. נזכיר כי מודל פנמן-מונטית' בסיסי כולל התנגדות אווירודינמית המבוססת על פילוג רוח לוגריתמי המתאים לתנאים של שדה פתוח. במודל PMrb, מוחלפת התנגדות זו בהתנגדות שכבת גבול סמוך למשטח מישורי (עלה). העדיפות של מודל זה בהשוואה למודל הרגיל מראה כי שימוש בהתנגדות שכבת הגבול עדיף על התנגדות לפי פילוג רוח לוגריתמי שבפועל לא קיים במבנים הנחקרים כאן. יש לציין כי בשנה ג' בשני המבנים עם וללא רשת צל, מודל ET FAO56 in Hourly, אשר כולל התנגדות לפי פילוג לוגריתמי גם נתן תוצאה טובה, כנראה עקב החישוב שלוקח בחשבון את המהלך היומי של נתוני האקלים.

Allen, R.G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome.

In: Cooling. Fuchs, M., (1993). Transpiration and foliage temperature in a greenhouse Systems for Greenhouses. International Workshop. AGRITECH, Tel Aviv, May 2–6, 1993.

Möller, M., Tanny, J., Li, Y., & Cohen, S. (2004). Measuring and predicting evapotranspiration in an insect-proof screenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, 127(1), 35–51.

<http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.08.002>

Moratiel, R., & Martínez-Cob, A. (2012). Evapotranspiration of grapevine trained to a gable trellis system under netting and black plastic mulching. *Irrigation Science*.

<http://doi.org/10.1007/s00271-011-0275-3>

Pirkner, M., Dicken, U., & Tanny, J. (2014). Penman-Monteith approaches for estimating crop evapotranspiration in screenhouses—a case study with table-grape. *International Journal of Biometeorology*, 58(5), 725–737. <http://doi.org/10.1007/s00484-013-0653-z>.

Priestley, C.H.B., Taylor, R.J. (1972). On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. *Monthly Weather Review*, 100, 81-92.

Tanny, J. (2013). Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. *Biosystems Engineering*, 114(1), 26–43.

<http://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.10.008>

Tanny, J., Cohen, S., Assouline, S., Lange, F., Grava, A., Berger, D., ... Parlange, M. B. (2008). Evaporation from a small water reservoir: Direct measurements and estimates. *Journal of Hydrology*, 351(1-2), 218–229.

Tanny, J., Cohen, S., Berger, D., Teltch, B., Mekhmandarov, Y., Bahar, M., ... Assouline, S. (2011). Evaporation from a reservoir with fluctuating water level: Correcting for limited fetch. *Journal of Hydrology*, 404(3-4), 146–156. Retrieved from

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169411002770>