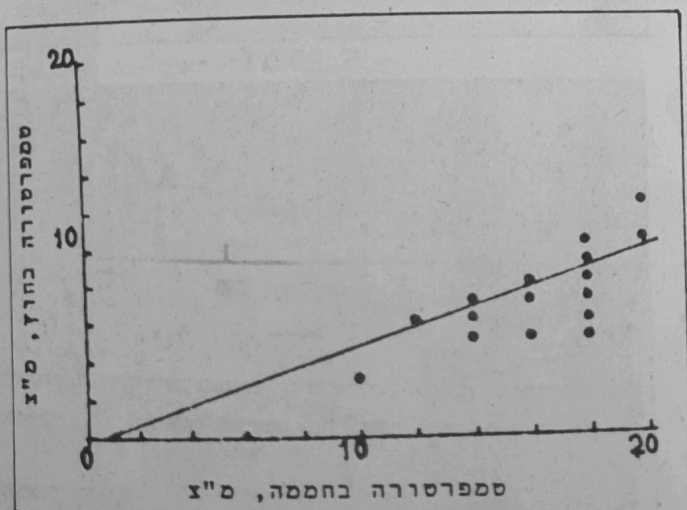


# חממה הידרו-סולרית מסחרית לצמחי-בית בטירת-יהודה

הפיתוח, וסיכום ארבע שנות הפעלה

מאת נ. זמיר, המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי  
י. בן-צור, מושב טירת-יהודה\*

במחליף-החום הותקנו כ-600 פומיות בספיקה כוללת של כ-150 מ"ק לשעה. משאבה בהספק כולל של כ-10 כ"ס דוחסת את המים אל הפומיות מתוך אחת מבריכות ערוגות הגידול. שאליה מתנקזים המים מכל 15 הבריכות האחרות. הפעלת המשאבה נעשית על-ידי מערכת חשמלית רגילה. שחישי-ניה הם שני "חצאי מוליכים" מתכווננים, האחד קובע את הטמפרטורה המכסימלית הרצויה והאחר את המינימלית הרצויה. כך שמעבר לגבולות אלה פועלת המשאבה אוטומטית. בקיץ מצטרפים לפעולת המשאבה ביום גם 2 מאווררים בקוטר 1.2 מ' עם מנועים של כ-2 כ"ס כל אחד, ומעל למחליף-החום נפתחים חלונות, כך שאוויר חיצוני מועבר דרך מחליף-החום ודרך החממה החוצה. המערכת הופעלה לראשונה בינואר 1981, אולם שיפורים נעשים בה באורח שוטף: בפברואר 1982 הוחלף הגג הכפול של ידיעת פוליאטילן בגג עשוי לוחות קשיחים של פוליאסטר משוריין (פיבר-גלס גלי). בחורף 1982/3 שימש מאגר המים לתפיסת מי הגשם. מאווררים שינו מקום, כיוון ועוד. בהתאם לניסיון שנרכש ולדרישות הגידולים, שהם בעיקר צמחי-בית.



דיאגרמה 1. התלות בין רמות הטמפרטורה המינימלית בחממה לטמפרטורה המינימלית בחוץ בעת הפעלת המערכת ההידרו-סולרית ללא תוספת חימום.

במשק בן-צור בטירת-יהודה, בחממה ששטחה כ-1,000 מ"ר, הותקנה ב-1981 מערכת למיזוג האוויר בשיטה ההידרו-סולרית. במשך ארבע השנים מאז פעלה המערכת ברציפות ובהוצאות אחזקה אפסיות. ההוצאה לחימום היתה כדי שביעית מזו שהיתה נדרשת על-ידי שריפת דלק להשגת תנאים דומים של טמפרטורה בחורף. חוץ מבחדשי ינואר, שבהם ירדה טמפרטורת האוויר למשך שעות אחדות ביום לכ-12 מ"צ — אפשר היה לשמור על טמפרטורת אוויר הקרובה ל-16 מ"צ ואף גבוהה יותר, ללא שום תוספת חימום — על-ידי צבירת עודפי החום מהחממה בשעות אור השמש.

## מבוא

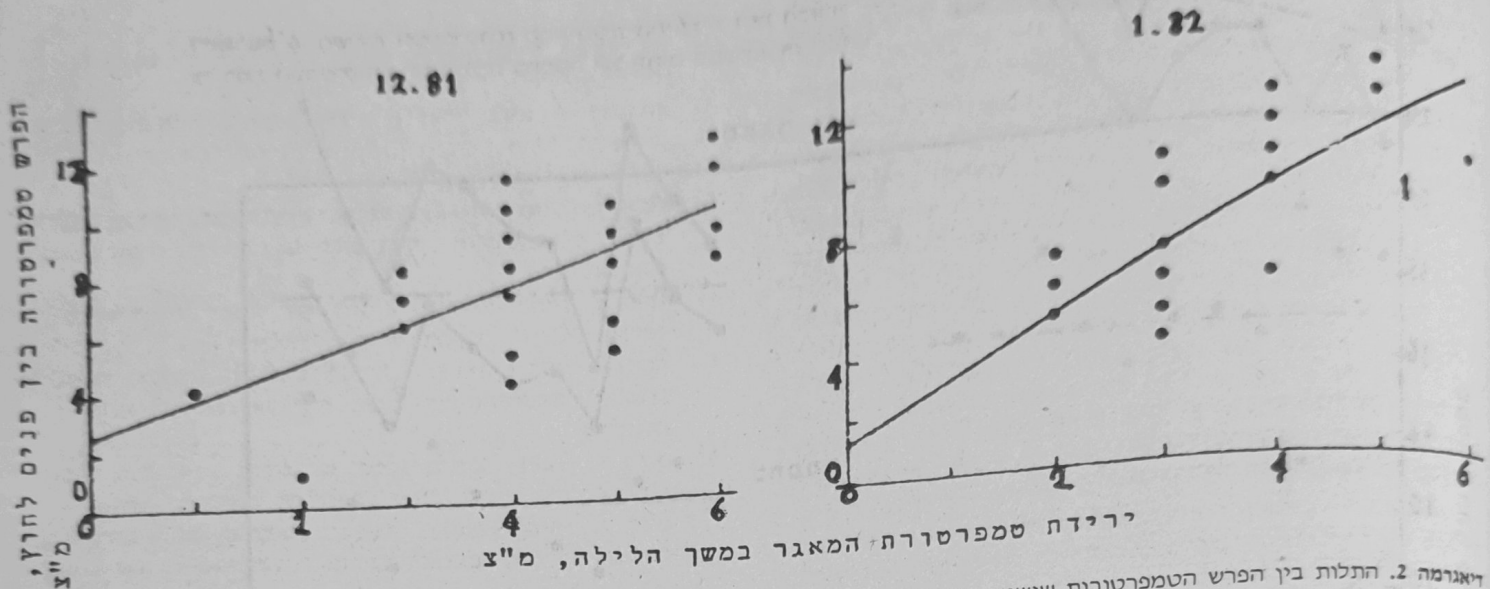
נוכח התייקרות הדלק הנוזלי, ששימש בעבר להעלאת טמפרטורת האוויר והמצע של החממות בחורף, ולאור הממצאים שהוכיחו שאפשר לאגור עודפי חום מספיקים בחורף מהחממה עצמה, לשם חימום לרמה סבירה בלילה (5.4,3) — הוצע ב-1980 להקים חממה מסחרית לגידול צמחים אוהדי חום ולחות (6) במשק בן-צור בטירת-יהודה. המטרה היתה, מצד אחד — לאמת את הממצאים שכבר הושגו, והיינו — אפשרות קיום-בכבוד לחקלאי על-ידי חיסכון בהוצאות חימום, ומצד אחר — להיות בסיס ארצי לפיתוח מסחרי של המערכת, לאותם גידולים שכבר נוסו בתנאי מעבדה (1, 2) וגם לצמחים נוספים.

## תיאור המערכת

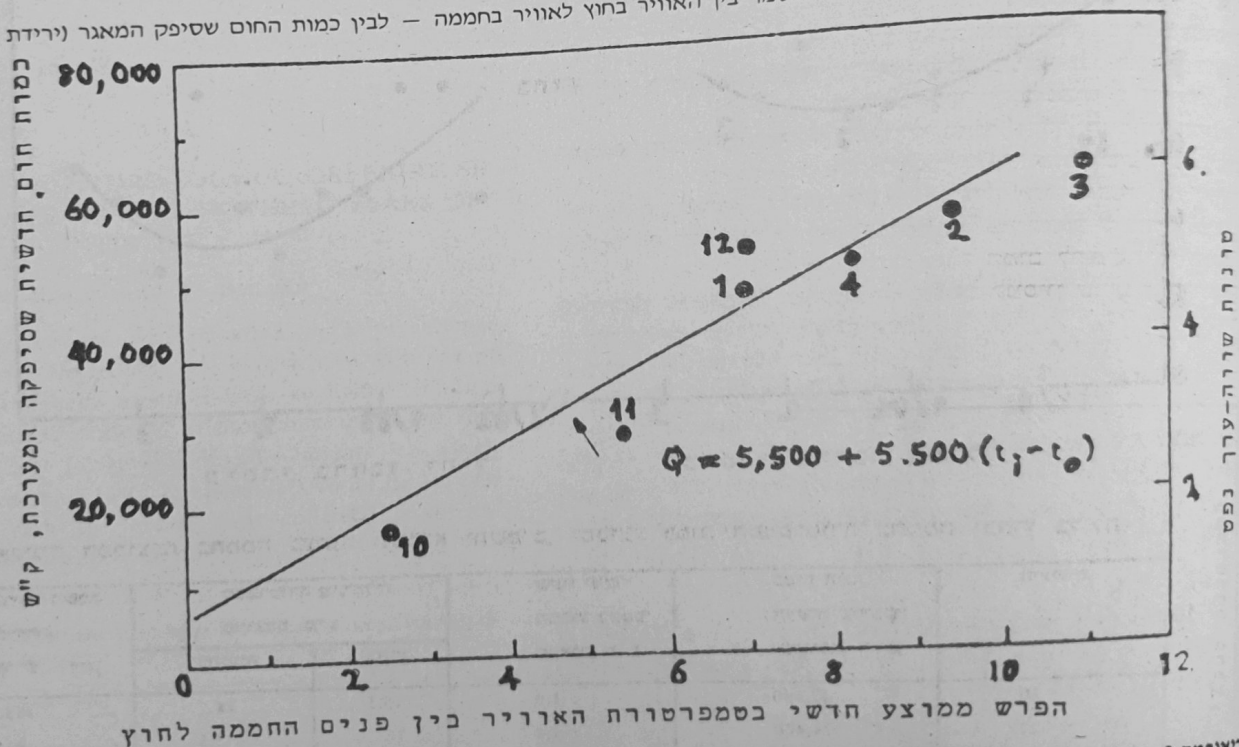
המערכת הותקנה בחממה המורכבת מ-4 מפתחים של 7.4 מ', שמידותיה הכלליות: רוחב 31.4 מ', אורך 29.6 מ' וגובה מרזביה 3.3 מ'. מאגר המים מותקן מ-16 בריכות, 15 מהן מהוות ערוגות גידול ומותקנות מדרום לצפון, בכיוון המרזבים; ובניצב להן, בקצה הצפוני של החממה — בריכה נוספת המהווה את תחתית מחליף-החום. כושר הקיבול של כל הבריכות יחד — כ-500 מ"ק. מחליף-החום עשוי מסגרת, שעליה פרושה ידיעת פוליאטילן המקיפה את איזור הריסוס. ארכו (כרוחב החממה) כ-29 מ' ורוחבו כ-2 מ', בממוצע. כניסת האוויר נעשית במשולשים שבין גובה המרזבים והגג, ויציאתו — בחריץ המופנה אל החממה שגבהו הפתוח כ-0.6 מ'.

גובה נפילת הטיפות כ-2.1 מ' בלבד, כדי שהמים מבריכת מחליף-החום יזרמו בכוח הכובד אל בריכות ערוגות הגידול.

\* פירסום של מינהל המחקר החקלאי, סדרה ה' 1984, מס' 1578.



דיאגרמה 2. התלות בין הפרש הטמפרטורות שנשמר בין האוויר בחוץ לאוויר בחממה — לבין כמות החום שסיפק המאגר (ירידת טמפרטורת המים).



דיאגרמה 3. התלות בין כמויות החום שסופקו לחממה בממוצע חודשי לבין פער הטמפרטורה המינימלי בין אוויר החוץ (ii) לאוויר החממה (io). המספרים ליד הנקודות מציינים את חדשי השנה.

לחות יחסית ורוח (7). אך תלוי גם במצב מאגר החום. התלות בין מידת התקררות המאגר, דהיינו כמות החום שסופקה לחממה, לבין ההפרש שנשמר בין פנים החממה לסביבתה — מובא בדיאגרמות 2 ו-3. גם בחינה זו מראה, שהפסדי החום תלויים הרבה בתנאים החיצוניים. ממוצעים חדשיים מובאים בטבלה 1 ובדיאגרמה 1.

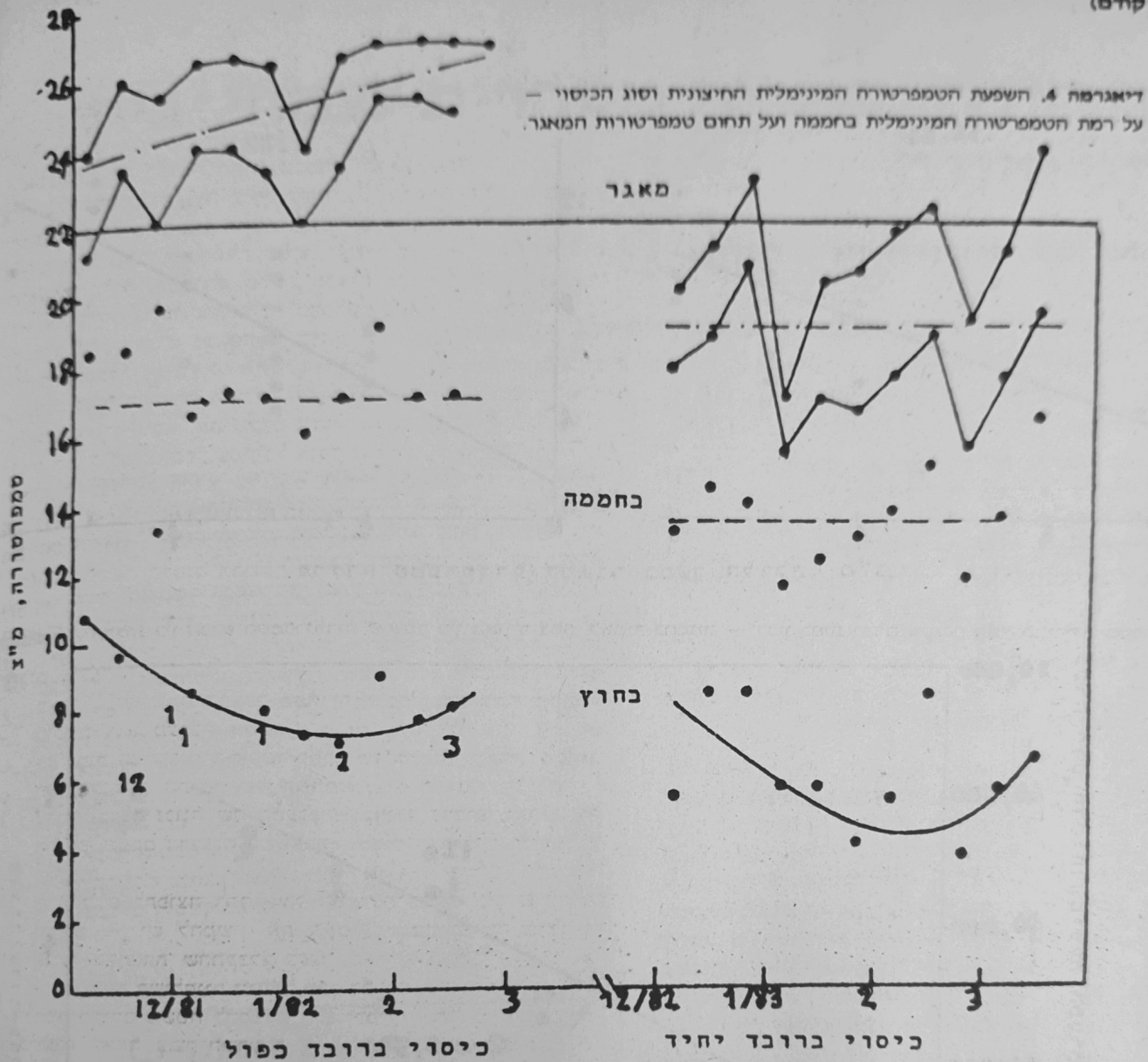
(המשך בעמוד הבא)

#### תוצאות ודיון

התלות שבין הטמפרטורה המינימלית שנשמרה בחממה לבין הטמפרטורה החיצונית — מובאת בדיאגרמה 1. תוצאות אלה מראות, שרמת הטמפרטורה בחממה אינה תלויה לחלוטין בטמפרטורה החיצונית. דבר זה יכול להיגרם על-ידי תנאי חוץ נוספים כגון

# חממה הידרו-סולרית מסחרית לצמחי-בית בטירת-יהודה

(המשך מעמוד קודם)



טבלה 1. השקעת האנרגיה הממוצעת בחממה בעונות חש"א ותש"ב, וממוצע רמות הטמפרטורה בחממה ובחוץ בלילה.

החודש	צריכת חשמל חודשית, קו"ש	טמפרטורה מינימלית ממוצעת, מ"צ		שינוי יממתי ממוצע בטמ"מ המאגר, מ"צ	כמות חום חודשית שסיפקה המערכת, קו"ש	היעילות
		בחממה	בחוץ			
אוקטובר	850	18	15.5	1.0	17,440	20
נובמבר	915	15.5	10	1.4	24,400	27
דצמבר	1,767	15	8	3.0	52,300	29
ינואר	2,645	13	6	2.7	47,090	18
פברואר	2,350	15.5	6	3.2	55,800	24
מרץ	2,250	18	7	3.5	61,050	27
אפריל	2,200	18.5	10	3.0	52,300	24
סה"כ	12,977				310,380	
ממוצע	1,840				46,736	24





## ספרות

1. בן-יעקב י. וחובי (1980): בחינת גידול צמחי נוי שונים בחממה הידרו-סולרית. "השדה" ס': 1485 — 1491.
2. הגלעדי א. וחובי (1980): גידול צמחי נוי במערכת הידרו-סולארית. דו"ח הקונגרס החמישי לגידול ללא קרקע. עמודים 373 — 378 (באנגלית).
3. זמיר נ. וחובי (1976): בחינת מצעים מלאכותיים למניעת מחלות קרקע בירקות. סקירה מקדימה מס' 751, מינהל המחקר החקלאי.
4. זמיר נ. וחובי (1980): פיתוח של חממה הידרו-סולארית. פרסום ג' 3/80, המכון להנדסה חקלאית.
5. לבב נ. וזמיר נ. (1978): חיסכון באנרגיה בתעשית החממות בישראל. אקטו-הורטיקולטורה. כרך 87, עמודים 121 — 131 (אנגלית).
6. פורת י. (1981): ניתוח כלכלי של גידול צמחי בית בחממה הידרו-סולרית. דו"ח פנימי, המחלקה לפרחים, שה"מ.
7. מידן ג. וחובי (1982): השפעת האקלים על איבודי החם בחממה מדרונית ובחממה רגילה. "השדה" ס"ג: 387 — 390.

## OPERATION OF A HYDRO-SOLARIC GREENHOUSE AND EXPERIENCE GAINED IN THREE YEARS OF ITS USE

N. Zamir<sup>1</sup> and Y. Ben-Zur<sup>2</sup>

A hydrosolaric system was installed in a greenhouse measuring 1000 m<sup>2</sup>. No trouble was experienced with any of its segments, and upkeep expenses were negligible. Heating expenses amounted to only 1/7 of those incurred where fuel oil was used. Except for several days in January, on which temperature dropped to 13°C, temperatures could be kept to 16°C or more with the excess heat collected from the greenhouse in daytime.

<sup>1</sup> Institute of Agricultural Engineering, Agricultural Research Organization, Bet Dagan.

<sup>2</sup> Moshav Tirat Yehuda.

ערכים אלה מורים גם על מקדם מעבר חום סביר. אם נחשב גורם זה לגבי חודש מרס, למשל, נקבל מקדם מעבר חום של 3.4 ואטים למ"ר למ"צ. כמקובל בגג עשוי יריעת פוליאתילן כפולה. אם ננתח את כמויות החום שסופקו יתברר, שכדי לשמור רמות אלה של טמפרטורה היה צורך לשרוף כ-30 טונה דלק במהלך 7 החדשים וכ-25 טונה ב-4 חדשים. בנצילות של 86%, ואילו להפעלת כל המערכת נצרכו כ-13,000 קו"ש. יעילות המערכת בתפיסת חום ובהספקתו היתה, במוצא, פי 24 מכמות האנרגיה שהושקעה כדי לפזר את החום (ראה טור אחרון בטבלה 1). מכיון שפער המחירים בין ק"ג דלק לקו"ש נע בין 4 במזוט ל-6 בסולר, הרי ששיפור עלויות ההפעלה נע בין פי 9 לפי 14. יחס זה היה מתקיים למעשה גם אילו ניתן, בחדשים הקרים, לספק את מלוא רמת הטמפרטורה הרצויה מאידך גיסא, אם מקדם הבידוד היה טוב יותר, כגון 2.2 ואטים למ"ר למ"צ. כפי שמקובל לגבי גג המכוסה במסך תרמי — יש להניח שבמקום הפרש של 7 מ"צ היה ההפרש בין פנים לחוץ גדל ל-10 מ"צ והטמפרטורה היתה נשמרת כל העת ברמה גבוהה מ-17 מ"צ. כדורש לגידולים העדינים ביותר, ללא כל תוספת חימום. לאור ההוצאה הקטנה הכרוכה בחימום החממה — נמשך החימום גם בעונות השוליים, שבהן בחממות עם חימום בדלק לא כלכלי לחם.

## סיכום

1. לאחר שלוש שנות הפעלה מסחרית הוכח, שהמערכת ההידרו-סולרית היא מערכת אמינה.
2. את רמות הטמפרטורה אפשר לתכנן בעיקר על-ידי גודל המאגר ורמת הבידוד התרמי של החממה.
3. על-ידי בקרה נכונה של המערכת, ובעיקר שילוב מתאים של התנאים שבהם הופעלה המשאבה — אפשר לשפר את יעילות המערכת.
4. כדי להגיע לתפוצה רחבה של המערכת ולהתאימה לגידולים נוספים — יש להמשיך את העבודה, ובהיקף רחב יותר.
5. על-פי התוצאות שהתקבלו בשנה האחרונה מתברר, ששיטת איגום המים בשולחנות הגידול מעל לקרקע, כך שדפנות השולחנות מהווים משטח להספקת חום ולפיזורו בחממה ולשמירת טמפרטורה נאותה בבית-השרשים — מאפשרת להפחית משעות הפעלת המשאבה כלילה עד למינימום, ועל-ידי כך להפחית את צריכת החשמל עוד יותר מכפי המובא בתוצאות המדורות של השנים הראשונה והשנייה.

הבעת תודה

עבודה זו נעשתה בשיתוף עם א. ארבל, י. בן-יעקב, א. הגלעדי, נ. לבב וע. פייגין. ריכוז הנתונים ועיבודם מומנו בהשתתפות משרד החקלאות ומשרד האנרגיה.

# חבר מושב!

# הבטח קבלת "השדה" בתשמ"ה.

קרא מכתב מריון בעמוד 1926