

# מניעת התחממות יתר בחממות והתאמת המבנה

מאת **משה זקס**, המחלקה לחקר החקלאות על-פי התורה  
**נחום זמיר**, המחלקה למיכון הגידול  
מינהל המחקר החקלאי\*

קרינת השמש החזקה בתנאינו מצריכה התאמת תנאי אוורור החממה למניעת התחממות יתר של העלים. בבדיקות שנעשו בחממות ללא אוורור מאולץ, לתנאי חוסר רוח, נמצא כי אפשר להעריך את התנאים שישררו בחממה בתנאי מזג-אוויר צפויים, לפי תלותם בגורמים הבאים: הפרשי הגובה שבין פני הנוף הצמחי לבין מרכז פתחי האוורור העליונים והתחתונים, שטח פתחי האוורור ביחס לשטח החממה, ושיעור ההתאדות הצפויה. החישובים מראים כי בחממה גמוכה (מיפתח קטן) עם נוף גבוה — דרושה פתיחה רבה מאוד של פתחי האוורור, אף מעבר למה שניתן בחממות הקיימות, כדי למנוע התחממות מהירה; וזאת בתנאי התאדות רגילה, בתנאי יום שמש אביבי. בחממה גבוהה

## מבוא

בימים בהירים חלה בחממה סגורה התחממות רבה, וזו עלולה לגרום עקת חום ואף נזק ניכר לצמחים. מכיון שהצמחים הגדלים בחממות רגישים אף לעלייה של מ"צ אחדות בטמפרטורה מעל לאופטימום, ומכיון שללא החלפת האוויר שליד העלים עלולה להיגרם בהם התחממות רבה — יש להתייחס לסכנה זו כאל מגבלה בעלת חשיבות רבה, ולנקוט את כל האמצעים הדרושים למניעתה. משום כך פותחו דרכי אוורור שונות, שיש לנקוט בנוסף להבטחת התאדות מספקת בחממה.

כדי לבחון את מידת התאמתם של מבנים שונים ומידת פתיחה

שונה של פתחי אוורור בחממות למטרה המדוברת — נעשו כדי-קוות ראשוניות לקביעת מידת הפתיחה הנדרשת של חלונות צד, וחלונות גג וחלונות גמלון במבנים שונים, כדי להבטיח טיח טמפרטורה (ולחות) הקרובה לאופטימלי, והנתונים שימשו לאימות החישוב התיאורטי. הבדיקות נעשו בחממות שללא אוורור מאולץ, ובתנאים של חוסר רוח עד רוח קלה ביותר. מוצעות כמה הנחיות, וכן סכימה לבדיקה ולחיזוי של מידת התאמת המבנה והאוורור, למניעת התחממות יתר בתנאים מסוימים. הפיתוח התיאורטי, וכן פרטי המשוואות והחישובים, נמסרו במפורט בעבודה אחרת

(פירסום 06/80/ג של מינהל המחקר החקלאי, המכון להנדסה חקלאית, מאת ג. זמיר, ג. לכב, ח. פסטרנק, א. ארבל וי. וילינגר, מרס 1980), וכן רשימת ספרות. **הנחות — כולל תיאור המתרחש בחממות**

א. תנועת אוויר כתוצאה מהתחממות. בתנאים שללא אוורור מאולץ או תנועת רוח מבחוץ — מבוסס אוורור החממה (החלפת האוויר) על תנועת אוויר, הנגרמת מהשתנות המשקל הסגולי — משקל יחידת הנפח של האוויר. תנועת כזאת, שהיא אנכית מיסודה, נגרמת כשאוויר נעשה קל יותר עם התחממותו ועולה, ואוויר

(מיפתח רחב) עם נוף נמוך אך מלא — ניתן לצמצם בפתיחה, וכך גם בתנאי התאדות רבה.

בתנאי שרב נמצאה חשיבות רבה להפרש הגובה שבין הנוף לפתחי האוורור התחתונים, ולהבטחת התאדות רבה, תוך פתיחה קטנה יחסית של פתחים אלו, למניעת התחממות רבה של העלים. עובדה סכימה גרפית לחישוב מידת הפתיחה הדרושה לתנאי הפרש גובה שונה בין נוף הצמחים לבין פתחי האוורור העליונים, לשם ייצוב טמפרטורה רצויה בחממה, לתנאי יום שמש אביבי. העבודה היא הקדמית, ולשם השגת דיוק — יש צורך בנייתוטים הכוללים גורמים ופרטים נוספים.

קר יורד או חודר מהצדדים למקום המתפנה על-ידי "עמוד" האוויר החם העולה, שנקרא לו להלן — "העמוד הקל". זהו תהליך רגיל של אוורור חממה המקבלת קרינת שמש ומאד רדת על-ידי חלונות גג, גם ללא צמחיה או מקור מש בתוכה.

ב.

תנועת אוויר כתוצאה מהתאדות. בחממה הכוללת צמחיה פעילה, מה שקורה בתחום התנאים הרגילים הוא, שאוויר הסופג אדי מים מהצמחים נעשה קל יותר, למרות התקררות מסוימת, ויוצר גם הוא "עמוד קל" — עולה הגורם החלפת אוויר בדומה למוסבר לעיל.



בתנאים חמים ויבשים יותר, כגון בתנאי שרב, האוויר שליד העלים מושפע מההתקררות הכרוכה בדיות המוגברת מעלי הצמחים (כשהם במצב מתאים לדיות רבה), ולמרות תוספת אדי המים לתוכו — משקלו הסגולי עולה על משקל האוויר החיצוני, ונוצר "עמוד כבד" — יורד. מיקום הפתחים התחתונים, כגון חלקו התחתון של וילון צד, קובע את גבהו של עמוד זה, ולכן גם את מהירות תנועתו. כאן פתיחה של פתחי אוורור נמוכים מנוף הצמחים — תהיה תנועת האוויר מצומצמת ביותר, ועלולים להיגרם נזקי התחממות העלים תוך הגבלת דיות.

נקודת האיזון בחממה וחשיבותה. בכל מערכת תנאים קבועה נוצר, כעבור זמן מה, מצב שבו תוספת החום על-ידי קרינה משתווה לאיבודי החום על-ידי התאדות, תנועת אוויר, הסעת חום לאוויר וקרינת חום. לכל מערכת תנאים נוכל לחשב את הטמפרטורה של נקודת איזון זו (ואת הלחות), ואם החישוב יצביע על הוצרות טמפרטורה מסוכנת לצמחים — נווכח כי הכרחי לשנות אחד הגורמים כדי למנוע נזק. משום כך עשוי חישוב נקודת האיזון להיות מכשיר לחיזוי ונזק ואות לנקיטת אמצעים למניעתו.

אתר הסכנה. המקום הקובע והקריטי לגבי הגידול — הוא החלק העליון של הנוף. בו עיקר פעולת הצמח: העלים סופגים מנת קרינה גדולה, וגם מדייתים ומקריינים. ברגיל, באיזור זה טמפרטורה גבוהה יחסית. לצורך בדיקה וחשוב של התנאים בחממה — מתייחסים בעיקר לחלק העליון של הנוף, הקובע את הצמיחה ואת היבול, והוא גם רגיש ביותר.

ה. טמפרטורות העלים, האוויר, ואיבודי חום בחממה. נהוג לראות בטמפרטורת האוויר קנה-מידה לתנאי הגדילה לצמח, אף כי טמפרטורת העלים עצמם קובעת יותר. לעלים, ברגיל, טמפרטורה נמוכה במקצת משל האוויר הסובב אותם, בשל דיות ביום והקרנת חום כלילה; אך ברגיל, ההפרש קטן ביותר. משתמשים במדידת טמפרטורת האוויר — משום שהיא נוחה ופשוטה יחסית.

קיימים כמה חריגים. כשקיים קושי בדיות, בשל לחות מרובה מאוד באוויר וחוסר רוח, או בשל מחסור במים, או בשל חוסר אפשרות תובלת מים בצמח — יקרה שטמפרטורת העלה תעלה אף על של האוויר סביבה, ותגיע למצב המסכן את קיומו. תופעות כאלו קורות במצבים כגון חממה סגורה ביום חם, או פתיחה רבה מדי של האוויר ביום שרב — כאשר הצמח צריך לדיית יותר מכפי יכלתו להוביל דרך הגבעול, או יובש בקרקע ולכן חוסר דיות. דוגמה של מצב כזה מצאנו בעלי ורד מהזן באקארה: בהם תיתכן סגירת פיוניות אף בתנאים לא קיצוניים כגון 65% לחות באוויר וכ-30°C, בפתיחה בינונית של פתחי האוויר ורר ביום שרב, או ביום חם ברוח חזקה. במקרה כזה פוסקת הדיות וחלה כמישה מלווה בעלייה מהירה של טמפרטורות העלה, ותוך זמן קצר יחסית מתגלים נזקים עד כדי נשירת עלים.

קליטת חום ואיבודו בחממה. לפי נתונים כלליים מעבודות קודמות קולטת החממה כ-50% מכמות הקרינה הכללית של השמש כחום המיתווסף לחממה, כדי 0.1 קלוריה גדולה למטר רבוע לשנייה בימי שמש, וכ-0.12 בימי שרב. חישוב זה הוא לאחר הפחתת החום המוסע

ומועבר בצורות שונות במצב איזון וללא תנועת אוויר מאולצת, אך כולל את החום המנוצל לאידוי משום כך, אם נפחית מהא-נרגיה הכללית הנקלטת את החום המורחק באמצעות אידוי ותנועת אוויר "טבעית" — נקבל את כמות החום הגורמת את עליית הטמפרטורה בחממה. זרימת האוויר. מכיון שמדובר בהתחממות פנימית שמעל לטמפרטורת האוויר בחוץ — הרי שיש לחשב את הסעת החום שעל-ידי החלפת אוויר ויציאתו הנגרמת בכוח הפרשי משקל, הנוצרים בהתחממות או בספיגת אדים, כפי שהוסבר לעיל. בתנאי חוסר רוח (וללא מאווררים), מהירות זרימת האוויר בכיוון אנכי תיקבע לפי אורך "העמוד הקל", שהוא הפרש הגובה בין מקום ההתחממות או ההתאדות — פני הנוף, לבין האוויר החיצוני — גובה חלון עליון או מרכז הפתח העליון שבקיר. להשלמת חישוב איבוד החום — יש לחשב גם את החום המושקע בכלל-האידוי. את שיעור האידוי משטח מושקה, בעל נוף מפותח (כיסוי שטח מלא), אפשר לאמוד בכמחצית מהאידוי מגיית סטנדרטית, כאשר לחות האוויר אינה מרובה או מועטה במידה בולטת, וקיימים סידורי אוורור תקינים, ללא רוח או מאווררים. אפשר גם לקבוע את ההתאדות על-ידי בדיקה ניסויית של ניצול מים השקיה או העמדת גיית קטנה בחממה.

לצורך חישובינו, נגדיר כ"אחוז פתיחה" את שטח הפתיחה המגביל אוורור של פתחי האוויר, ביחס לשטח החממה. כך, בחממה עם פתחי צד וחלונות גג, שבה לגבי יום שמש רגיל החישוב הוא לפי תנועת האוויר מלמטה למעלה — יהיה שטח הפתיחה המגביל

הנמוך מבין שניהם; וכשהם שווים — מחצית מהפתיחה הכללית. אם הווילון הצדדי פתוח רק מעט, כגון בימי שרב — ברור כי פתיחתו היא המגבילה. בווילון פתוח לגמרי אפשר להתחשב בחלקו התחתון כבסיס עמוד האוויר העולה (או היורד), כאשר פתיחתו היא בעודף גדול על חלונות הגמלון.

## תוצאות

נתחיל בדוגמה של חישוב אחוז פתיחה דרוש. הנתונים — חממת עגבניות, נוף גבוה ומלא. תנאים חיצוניים — טמפרטורה 25°C, 60% לחות יחסית, משקל נפחי של האוויר — 1.181 ק"ג למ"ק. בחממה יש להגיע לטמפרטורה אופטימלית של 28°C, בהנחה (או בבדיקה) ששיעור ההתאדות הוא 0.3 מ"מ לשעה. לחות האוויר הנוצרת בחממה (עם חימום האוויר הנכנס ואידוי) היא כ-56%, והמשקל הנפחי של האוויר יהיה 1.147 ק"ג/מ"ק. לפי חישוב בינו, תידרש תנועה של 0.066 ק"ג למ"ר לשנייה כדי לשמור על יציבות הטמפרטורה בכוישר אידוי זה. תנועת אוויר כזאת תושג על-ידי תנועת עמוד אוויר קל באורך של 4 מ', ב-20% פתיחה. כלומר: כאשר הפרש הגובה בין הנוף לבין חלונות הגג הוא 4 מ' (כגון בחממה בעלת מפתח של כ-12 מ') — צריכה להיות פתיחה של 20% משטח החממה — בגג, כדי לשמור על יציבות הטמפרטורה. אם מדובר בחממה בעלת מפתח של 3.2 מ', ו"עמוד קל" של מטר אחד בלבד (כגון בגידול עגבניות גבוה), תידרש פתיחת 45% מהגג וכן מהצדדים, דבר שאינו מעשי. מדוגמה זו אפשר ללמוד, שלשם מניעת התחממות מעל 28°C, בתנאים כאלו — יהיה הכרח בשינוי התנאים, כגון אוורור נוסף, הנמכת הנוף, צמצום כניסת קרינה (סיווד רב) וכדומה; אך סביר, שהפתרון הפשוט המתאים ביותר יהיה — לבנות מראש חממה גבוהה יותר.

(המשך בעמוד הבא)



זיהוי מבנים המתאימים לנתונים שבטבלה בתנאים רגילים, גבהי "העמוד הקל" המובאים בטבלה מתאימים כלהלן: מטר אחד — לחממות נמוכות בעלות מיפתח צר, של 3.2 מ' וכד', עם גידול גבוה כגון עגבניות כשיא העונה, וחלונות גג; 2 מ' — מיפתח בינוני; 4 מ' — מיפתח בינוני עם גידול נמוך; 6 מ' — במיפתח רחב, חממה גבוהה; 8 מ' — חממה

תוצאות החישובים למקרים שנבדקו. בטבלאות 1—4 מובאות התוצאות המחושבות לחיזוי שינויים דרושים במידת הפתיחה או באורך "העמוד הקל" כדי להשיג טמפרטורה אופטימלית בחממה, בתנאי יום שמש מצורפת לטבלה גם הערכה לתנאי יום שרב. התוצאות משוערות, אך מבוססות על בדיקת מצבים בכל מערכת.

גבוהה ביותר (כמעט שאין כארץ), עם חלונות גמלון. בחממות שאין בהן חלונות גמלון או חלונות גג, ההפרש מגובה הנוף ועד לחלק העליון של הווילון הנפתח מהווה את הגובה המכסימלי של "העמוד הקל", שהוא מצומצם ביותר במקרה זה. בתנאים המדוברים ללא רוח, נקל לראות כי לא ניתן למנוע התחממות בנוף גבוה בחממות רגילות

הנוף, והפרש זה אינו גורם אפשר להגדילו מעט על-ידי דאגה לסידור פתיחה עד לקרקע ממש.

בתנאי שרב, פעולת הרוח עלולה להיות הרסנית, כאשר כניסה רבה של רוח (בטבלה מתקבלת רוח מספקת אף ב-5% פתיחה ורוח קלה ביותר!) עשויה להביא את תנאי החממה להיות דומים לתנאי החוץ, ובמקרה זה

טבלה 1. ספיקת אוויר דרושה לאיזון טמפרטורה בימי שמש ללא רוח.

אידי מ"מ לשעה	טמפרטורת האיוון, מ"צ <sup>3</sup>	לחות אוויר, %	משקל אוויר, ק"ג למ"ק	ספיקת אוויר, דרושה, ק"ג/מ"ר/ש
תנאי חוץ	25	60	1.161	---
חממה ריקה	28	51	1.150	0.131
צמחים עם	0			
דיות מצומצמת	28	56	1.147	0.066
דיות טובה	28	72	1.140	0.026

טבלה 3. ספיקת אוויר דרושה לאיזון טמפרטורה בתנאי שרב.

אידי, מ"מ לשעה	טמפרטורת האיוון, מ"צ	לחות אוויר, %	משקל אוויר, ק"ג למ"ק	ספיקת אוויר, דרושה, ק"ג/מ"ר/ש
תנאי חוץ	35	20	1.133	---
אוויר עומד, צמחים				
עם דיות טובה	28	72	1.140	0.028
רוח קלילה (5 קמ"ש)	28	72	1.140	0.028

הערות לטבלאות:

- 1 אחוז פתיחה — שטח פתחי אוורור בחלונות גג וגמלון ובחלונות צד נמוכים (הקטן שבהם) ביחס לשטח החממה (=100%).
- 2 לפי גיגית מס' 2, ביום בהיר אביבי, בשעות החום.
- 3 טמפרטורה רצויה לגידול.
- 4 עמוד קל — עמוד אוויר המתרומם בעקבות פתיחת משקלו הסגולי בהתחממות או ספיגת אדים = הפרש גובה בין נוף לחלונות גג.
- 5 עמוד כבד — עמוד האוויר היורד מהנוף בעקבות הגדלת משקלו הסגולי בהתקררות = הפרש גובה בין נוף לפתיחת וילון צד.
- 6 בהנחה, שהפתח התחתון נמצא בתחתית הדופן הנוגדת לכיוון הרוח, והפתח כגג (או בגמלון) כ-90° לכיוון הרוח.

טבלה 2. % פתיחה<sup>1</sup> נדרש בימי שמש ללא רוח, בגבהים שונים של "העמוד הקל"<sup>4</sup>.

כשגובה העמוד הקל, מטרים	1	2	4	6	8
חממה ריקה	45	30	50	40	35
צמחים עם דיות מצומצמת	12	8	4	3	3
דיות טובה					

טבלה 4. % פתיחה נדרש בתנאי שרב, בגבהים שונים של "העמוד הכבד"<sup>5</sup>.

כשגובה העמוד הכבד, מ'	0.5	1	1.5	2
אוויר עומד, צמחיה עם				
דיות טובה	47	33	29	24
רוח קלילה (5 קמ"ש)	65			

לא קטן שתפרוץ רוח, ופתיחת הווילון תגרום אז נזק על-ידי הכנסת תנאי חוץ לחממה. משום כך נקל להבין את הצורך בהשקיה טובה, ובהרטה נוספת, שבתנאי שרב לא ניתן למצוא לה תחליף סביר, תוך פתיחה מינימלית של הווילון, נמוך ביותר.

### תחזית לגבי תנאים שונים

עלינו להעיר, כי עבודה זו היא הקדמית ותיאורטית, שכן היא מתבססת על מדידות ממשיות מעטות, ומכיון שאינה כוללת בדיקת נתונים על המתרחש בתנאים שונים כגון סיווד רב, רוח בעצמה שונה ועוד. עם זאת, היא מצביעה על גורמי ההתחממות ועל מניעתם, ובפרט על חשיבות אחוז הפתיחה

שאינן גבוהות, הנפתחות משני צדדים והן בעלות 10%—20% פתיחה מכסימלית כגג או בצד, אלא על-ידי הבטחת דיות מרובה (או פתיחה מכל ארבעת הצדדים ופתיחה נוספת כגג להגדלת אחוז הפתיחה). בחממה גבוהה קל יותר להשיג אוורור טוב. בתנאי רוח האוורור טוב יותר, אך כמצב של חוסר רוח כמשך זמן קצר כבר עלול להיגרם נזק.

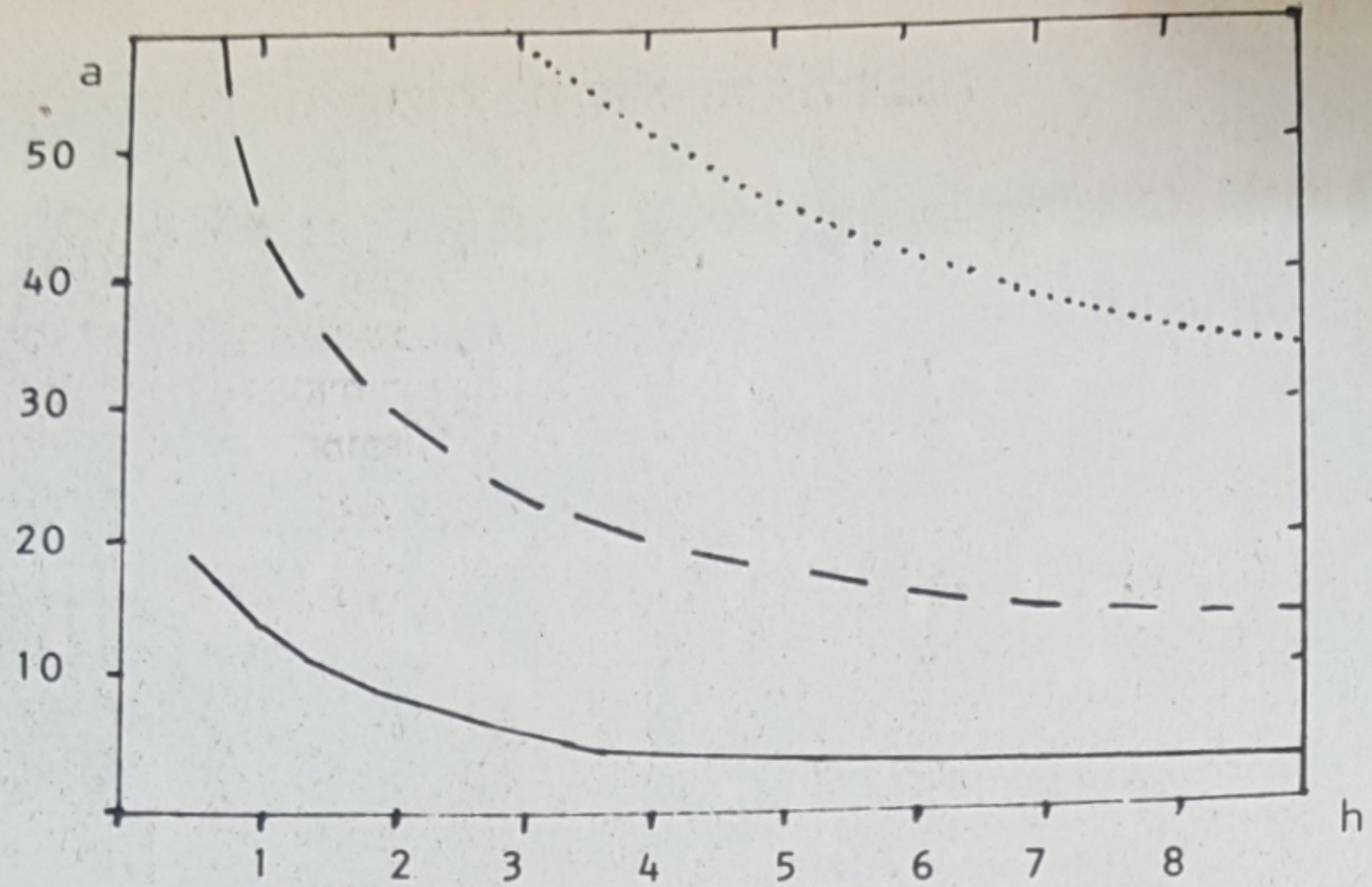
לגבי תנאי שרב, מכיון שתנועת האוויר נשלטת על-ידי גובה "העמוד הכבד" — היורד, הרי שארכו מוכתב על-ידי הפרש הגובה מהפתח הצדדי ועד לגובה — של יובש קיצוני — הדבר מסוכן ביותר. מצד אחר, ללא רוח, רק גובה חממה מיוחד עשוי לאפשר השגת 28 מ"צ בחממה בפתיחה רבה מאוד, וקיים סיכון



וגובה החממה. לשם ביצוע תחזית לתנאים שונים – צוירו סכימות גרפיות המאפשרות הערכת הדרוש לשם איזון הטמפרטורה בתחום האופטימלי בתנאים שונים.

בהסתכלות בדיאגרמה 1 אפשר לראות בקלות את המגבלה החמורה של כושר התאדות מועט – כגון בצמחים קטנים או רווים, בעיקר לגבי חממות נמוכות יחסית – בעלות "עמוד קל" קצר.

**דיאגרמה 1.**  
 סכימות גרפיות  
 לתיאור תנאי אוורור  
 המאפשרים יצוב  
 טמפרטורה אופטימלית  
 (28 מ"צ) בחממה ביום  
 שמש (התלות בין שטח  
 פתחי אוורור, גובה  
 החממה וההתאדות  
 למעשה).



מקרא:

..... ללא התאדות (חממה יבשה)  
 ----- 0.3 מ"מ (דיות (מצומצמת)  
 \_\_\_\_\_ 0.5 מ"מ (דיות טובה)  
 a – פתחי אוורור יעילים (%): שטח פתחי אוורור יליונים, יחסית לשטח החממה (כאשר פתחים נמוכים אינם מהווים גורם מגביל, כי הם פתוחים יותר).  
 h – גובה "עמוד האוויר הקל" במטרים: דרך עליית האוויר מאמירי הצמחים ועד למרכז פתחי האוורור העליונים.  
 תנאי חוץ – טמפרטורה 25 מ"צ, לחות יחסית 60%.

## צ'צ'קס את קופל

טל. 063-77220

כביש חדרה – עפולה

(אחרי צומת גן-שומרון – כרכור)

משווקי טרקטורים

ציוד חקלאי

ציוד לחממות פרחים