



מעוף הפרפר מהטבע לטכנולוגיה

מרצה - דובי בנימיני

יו"ר אגודת חובבי הפרפרים, מהנדס מכונות/אווירונאוטיקה
ומנהל המעבדות למיקרו-רובוטיקה בתעשייה האווירית לישראל

הפרפרים הם חרקים זעירים בעלי ארבע כנפיים; משקלם עשיריות גרמים ומעופם מיוחד מבחינה אווירודינמית. לקראת פרישתי לגמלאות החלטתי לעסוק בחלומי-חזוני: לבנות כלי תעופה זעירים שידמו את מעוף הפרפרים.

במהלך אלפי שנות אבולוציה יצר הטבע פתרונות המשמשים את הטכנולוגיות השונות בתעשייה. כחוקר פרפרים הכרתי טכנולוגיות אחדות שהסתמכו על מחקר מבנה הקשקשים של הפרפרים, אבל ידעתי שמעטים בעולם ניסו ליישם את דרך מעופם.

יישום הפתרונות שיצר הטבע מאפשרים לי לבנות כלי טיס זעיר שיכול לבצע משימות שמזל"טים אינם יכולים לבצע. שנות עבודתי כבונה אבי-טיפוס של מטוסי קרב ומזל"טים, יכולת החשיבה הבלתי-שגרתית שנדרשה ממני כל השנים ושנות החקר שלי בתחום הפרפרים יחד עם סטודנטים ומהנדסים צעירים מאפשרים לנו להגיע לבניית דגמים משופרים לקראת הדבר האמיתי – כלי טיס זעיר אוטונומי שיוכל לבצע משימות שונות.

המצגת להלן תציג את עיקרי הדברים

שאפשר לפרסם והחשוב מכול,

מה קורה כשנותנים חופש לחלום/תחביב של ילד.

סקרנות של ילד

את הסקרנות של הילד יש לעודד בתשובות ובחיפוש משותף של התשובות.
ילד סקן הוא ילד חושב.

דובי אמנם לא קבל תשובות לשאלותיו ולכן חפש בעצמו את התשובות ע"י בדיקה
וחיפוש.

בתקופה שהיה בה ילד הילדים היו בקשר בלתי פוסק עם הסביבה.



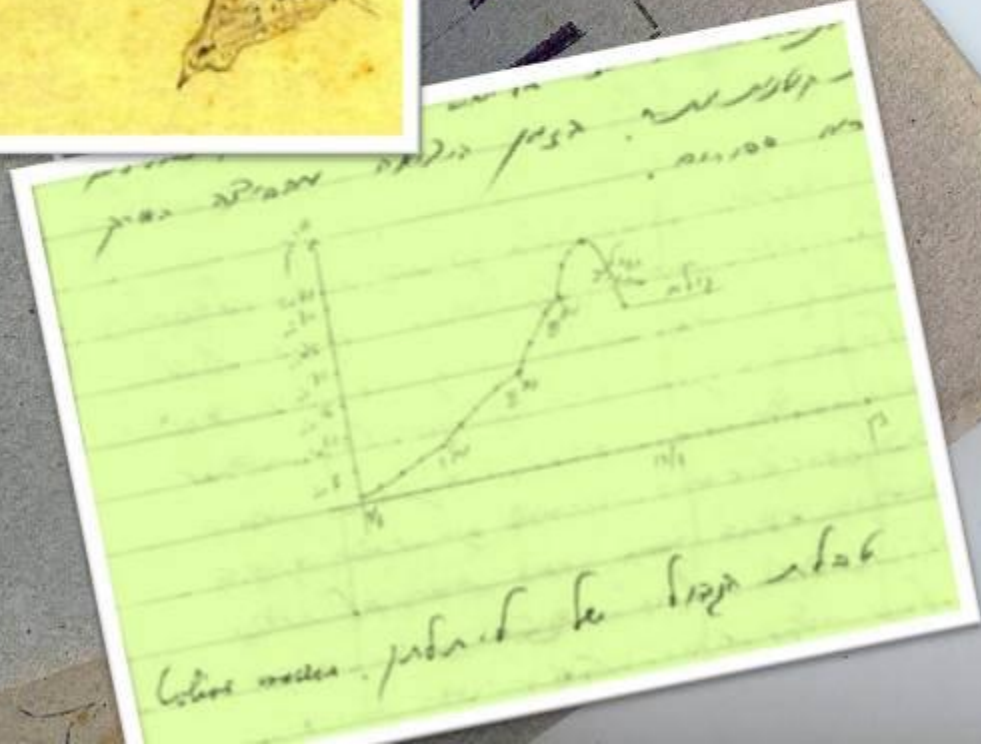
לימוד עצמי

דובי לאורך כל חייו מתחילת ב"ס יסודי אסף חרקים סלמנדרות נחשים ועוד, הפרפרים שבו את ליבו ואותם חקר מגיל צעיר המחברת האלו היו יומני התצפיות שלו. למטה גרף שבו עקב אחר קצב גידול הזחל ובו חאים את ההאטה באורך לקראת כל נשל והקטנה לקראת ההפיכה לגולם.



Gonepteryx humilis

רישום מדעי בגיל 14



הוראות להילכי רגל
 א. תפסד ללכת על המדרכה.
 ב. תפסדו את המדרכה על פני ראשית
 המדרכה. המדרכה היא המדרכה.
 ג. תפסדו את המדרכה על פני ראשית
 המדרכה. המדרכה היא המדרכה.
 ד. תפסדו את המדרכה על פני ראשית
 המדרכה. המדרכה היא המדרכה.
 ה. תפסדו את המדרכה על פני ראשית
 המדרכה. המדרכה היא המדרכה.
 ו. תפסדו את המדרכה על פני ראשית
 המדרכה. המדרכה היא המדרכה.
 ז. תפסדו את המדרכה על פני ראשית
 המדרכה. המדרכה היא המדרכה.
 ח. תפסדו את המדרכה על פני ראשית
 המדרכה. המדרכה היא המדרכה.
 ט. תפסדו את המדרכה על פני ראשית
 המדרכה. המדרכה היא המדרכה.



משרד החינוך, ירושלים - תשס"ז

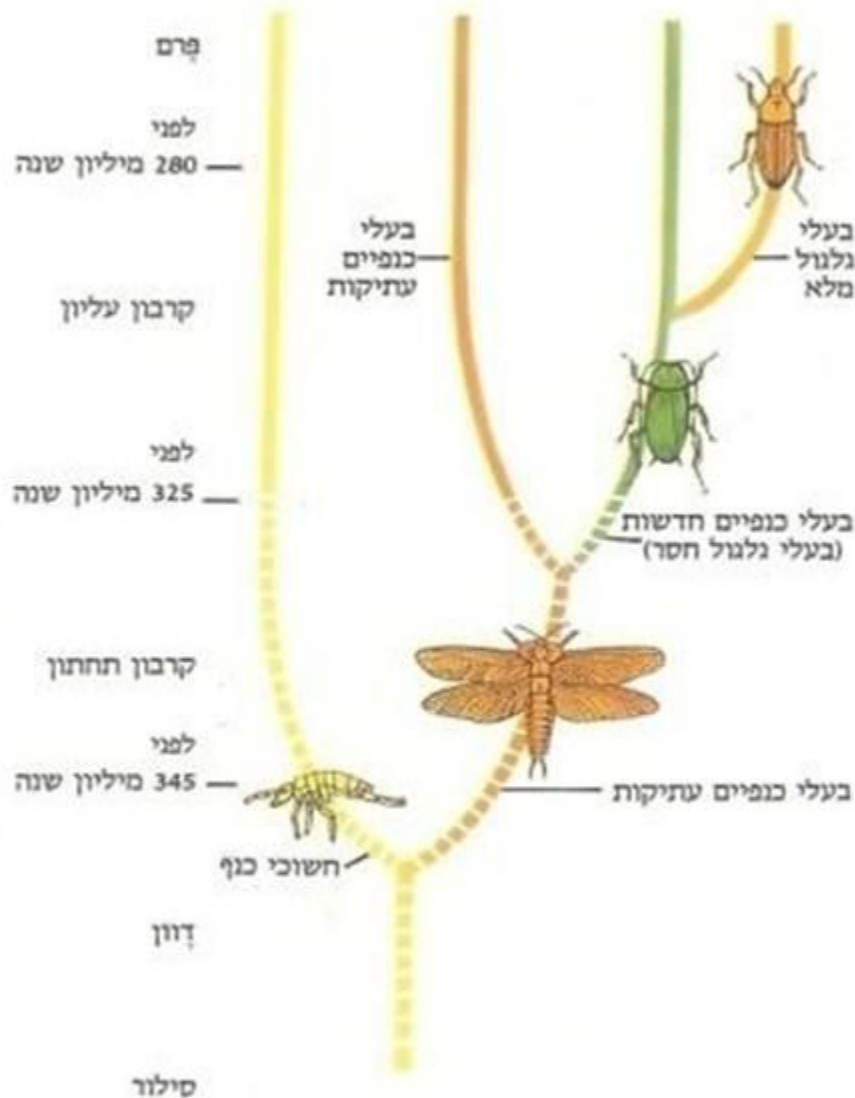


למטה - אוסף ראשון של דובי בו השתמש בסיכות תפירה של אמו.
למעלה - הניסיון של דובי להכין מגדיר פרפרים של ישראל כשהיה בסביבות גיל 13, מאחר ומצלמה לא הייתה בנמצא
מרח דבק על דף נייר הצמיד כנף של פרפר וכך נדבקו הקשקשים שעל הכנף לדף ויצרו העתק מדוייק.



ביו-מימקרי לומדים על תעופה מהטבע

מאז ומעולם התבונן האדם בטבע וניסה לפענח את סודותיו, נתנת פה סקירה קצרה על התפתחות התעופה בחרקים



האבולוציה של החרקים

קנרד



בעל החיים הראשון שהצליח לעופף
היה חרק ארכאי, קדום, דמוי שפירית.
לפני 345 מיליון שנה

חרק מעופף קדמוני (עופף לפני כ- 300 מיליון שנה) - מדוע נעלם ?



שפירית בעלת מוטת כנפיים של 70 ס"מ האפשרות לקיומה
היה הרכב האוויר של 35% חמצן. (כיום 21% חמצן)



מאובן של שפירית.



דגם המנסה לשחזר את השפירית.

פרפרים מאובנים מקולורדו, ארה"ב
לפני כ-50 מיליון שנה

הפרפר הראשון - לפני כ-205 מיליון שנה
מאובן שנתגלה מתקופת הפחם באנגליה.



חרקים בענבר (שרף מאובן)

החולייתן המעופף הראשון – פטרוזקטיל
 זוחל קדום מתקופת היורה לפני כ-190 מיליון שנה



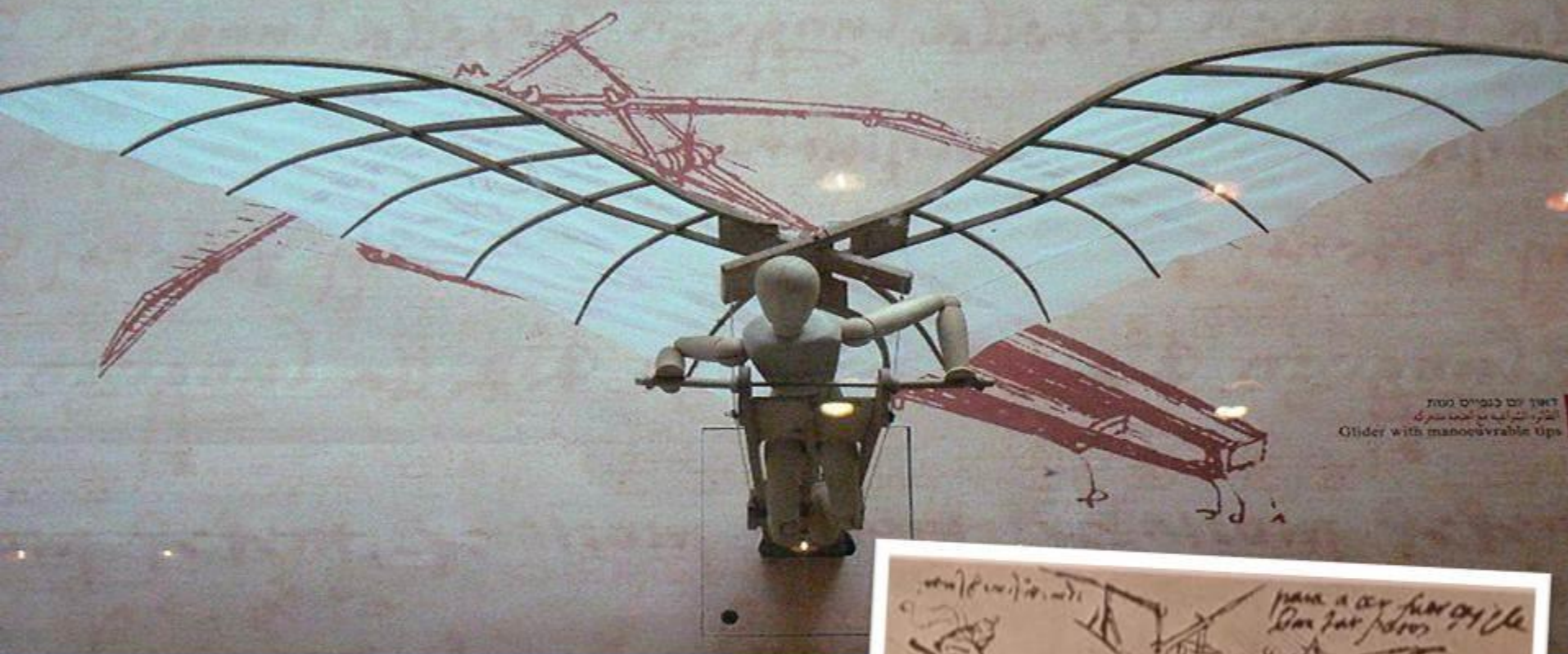
הופעת הציפורים
 לפני כ-160 מיליון שנה



רצון האדם לעוף כמו ציפור ולצאת ממגבלותיו
קיים משחר ההיסטוריה.

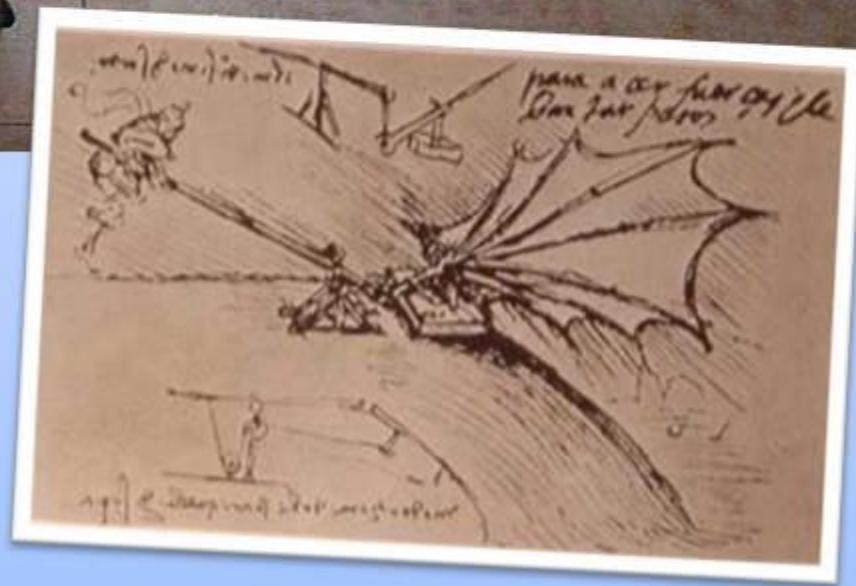


חלומות התעופה של לאונרדו דה-וינצ'י



התשוקה לעוף באה לידי ביטוי במחקרים ורישומים רבים שהותיר דה-וינצ'י. מגיל צעיר הוא הוקסם מרעיון התעופה, וחקר את מעוף הציפורים. הזיכרון הראשון שלו, כך ציין בכתביו, היה על ציפור. כבר במחברות המוקדמות שלו (1478-1480) ניתן למצוא רישומים של מכונות תעופה שכנפיהן מעוצבות על פי כנף העטלף. עיקר עיסוקו בנושא היה בשנת 1505, ורכז במחברת המכונה **קודקס טורינו**, שם חקר בצורה שיטתית ומפורטת ציפורים ועטלפים, ותכנן מספר עיצובים של "מטוסי-ציפור".

"מטוסים" אלו כללו מכונות שבהן הטייס שוכב ועל גבו קשורות כנפיים מיכניות שאותן הוא מניע בעזרת דוושות וידיות, או מכונות שבהן הטייס עומד ומשתמש בראשו ובידיו כדי להניע את הכנפיים. אחד מתכנוניו מראה הליקופטר אותו ניתן להרים לשמים באמצעות חטור המונע בידי אדם. תכנונו לא יכול היה לפעול, משום שגוף המסוק עצמו היה מסתבב בכיוון המנגד לזה של החטור.



לעוף כמו ציפור



לעוף כמו פרפר



ביו מימקרי - מדוע כדאי ללמוד מהטבע ?

תהליך האבולוציה

התאמה ויתרון על פני האחרים = הישרדות.



מחקר של פתרונות אבולוציוניים



יישומם כפתרונות טכנולוגיים



מומחה לחקר פרפרים



מהנדס ומומחה בבניית אבי טיפוס של מטוסים.

איזו צורת כנפיים מתאימה לדרישות?



שעיר-כנף



יתוש



ארינמל



כנימה



צרצר-שיח



מניפאי



פסוקאי



צרעה



דבורה



צרעה



זבוב



זבוב-עקרב



חגב



שפירית



שפירית



רפרף



עש



עש מנוצה

כנפי מברשת

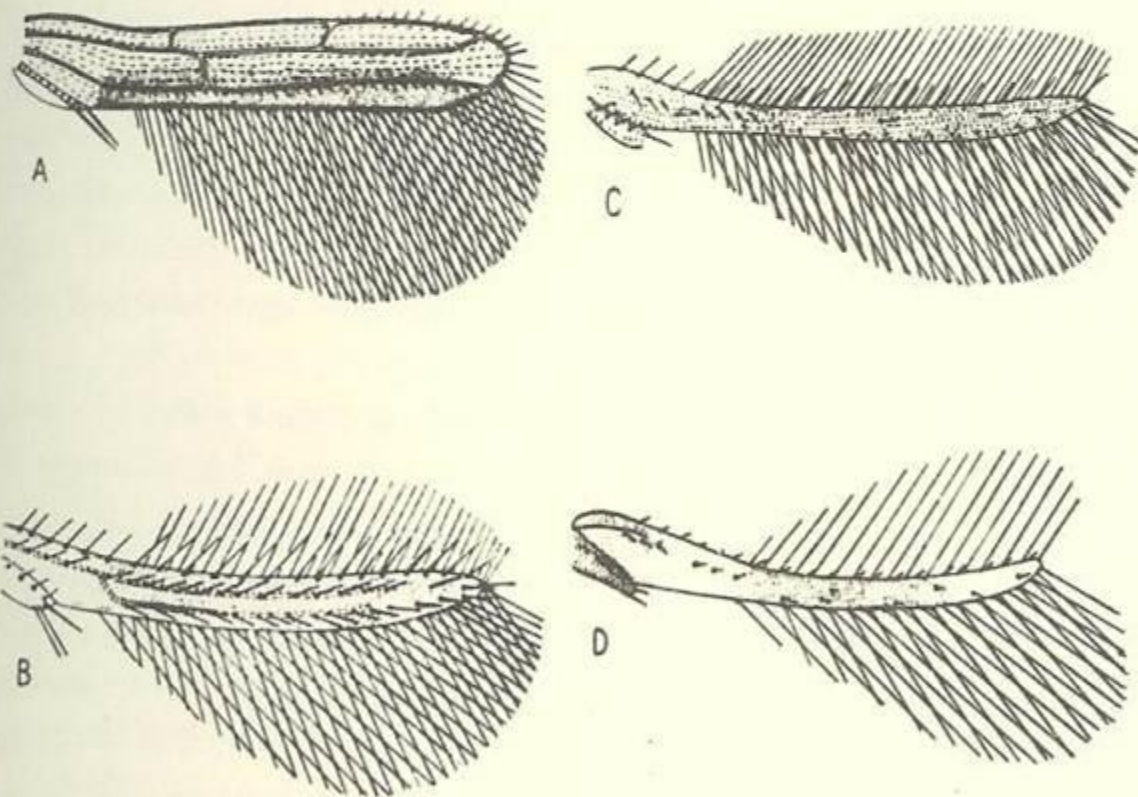
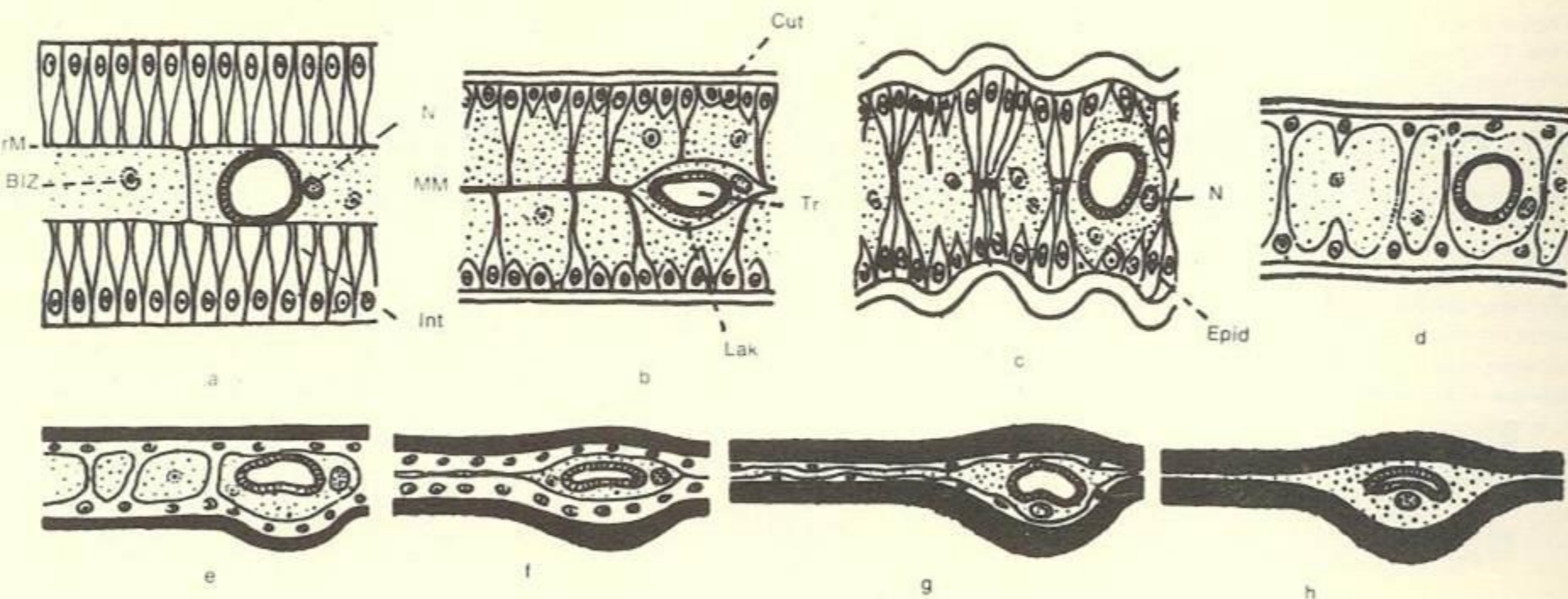


Fig. 37. Bristly wings of various species of Thysanoptera, each time the right fore wing is shown. A, *Aelothrips kuwanii*; B, *Euthrips ulicis*; C, *Taeniothrips inconsequens*; D, *Euthrips orchidi*. The length of the wings is only a few tenths of a millimetre.

חתך של מבנה כנפיים

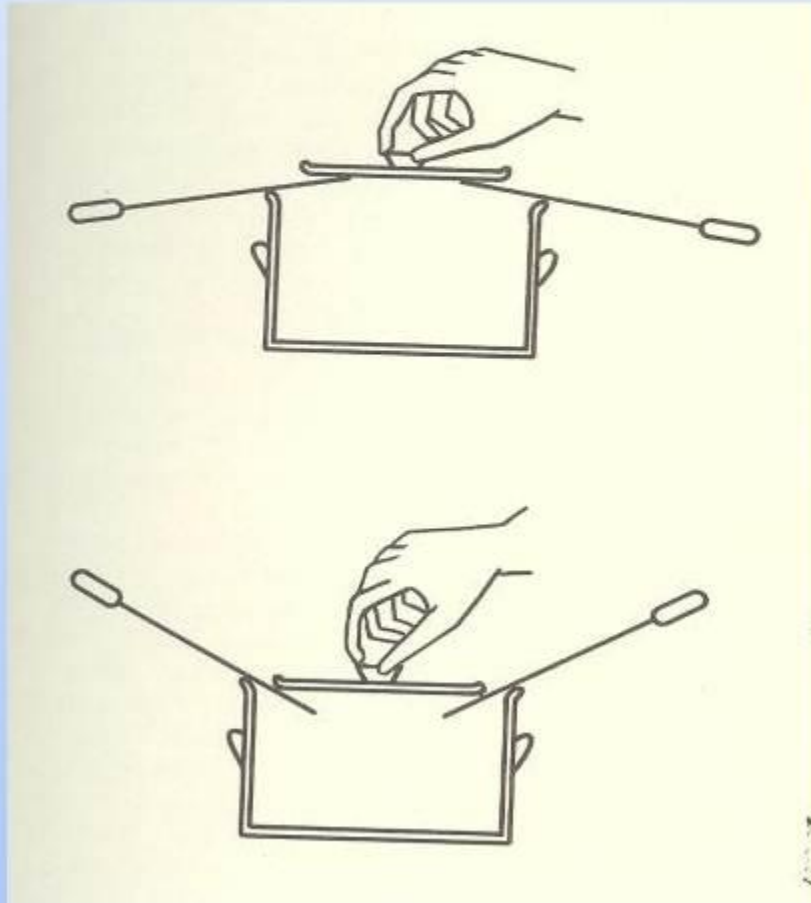


ניתוח תנועת כנפיים - ציקדות

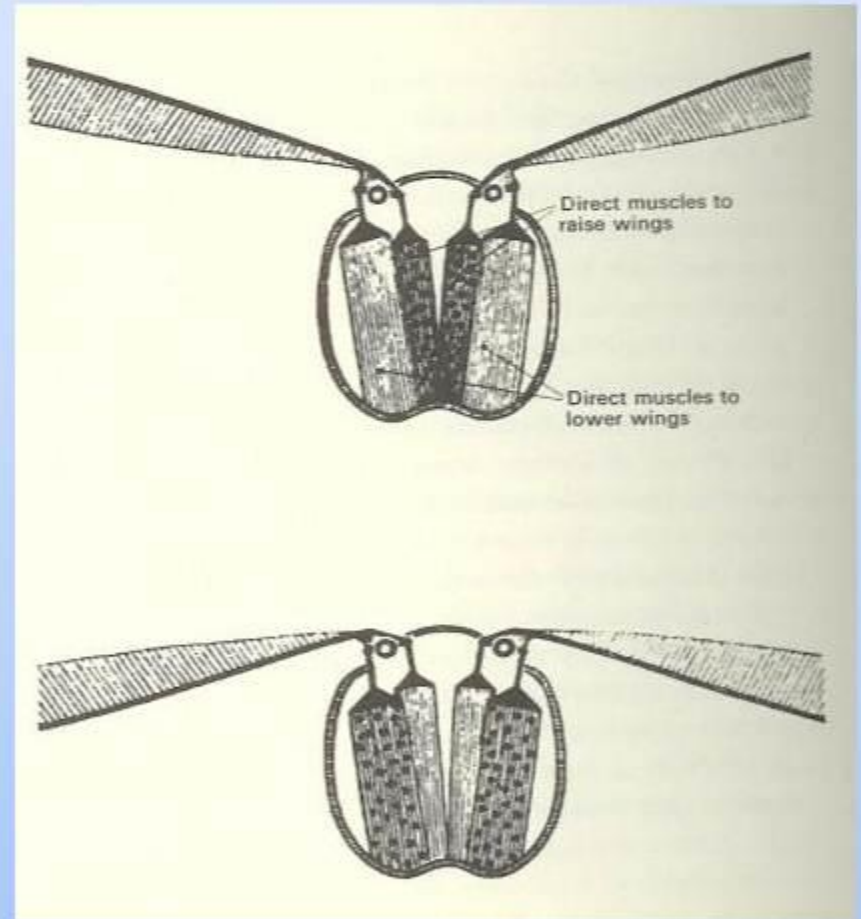


מעוף חרקים

הדמיית פעולת השרירים



צירי הכנף והשרירים בתנועת מעלה-מטה



Artogeia rapae cruising d 1-01



Artogeia rapae cruising d 1-02



Artogeia rapae cruising d 1-07



Artogeia rapae cruising d 1-08



Artogeia rapae cruising d 1-12



Artogeia rapae cruising d 1-13



Artogeia rapae cruising d 1-14



Artogeia rapae cruising d 1-16



Artogeia rapae cruising d 1-17



Artogeia rapae cruising d 1-19



Artogeia rapae cruising d 1-22



Artogeia rapae cruising d 1-23



Artogeia rapae cruising d 1-24



Artogeia rapae cruising d 1-25



Artogeia rapae cruising d 1-27



Artogeia rapae cruising d 1-28



Artogeia rapae cruising u 1-01



Artogeia rapae cruising u 1-03



Artogeia rapae cruising u 1-04



Artogeia rapae cruising u 1-05



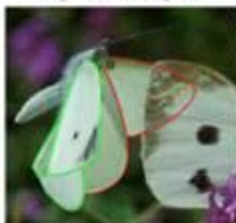
Artogeia rapae cruising u 1-07



Artogeia rapae cruising u 1-08



Artogeia rapae cruising u 1-10



Artogeia rapae cruising u 1-11



Artogeia rapae cruising u 1-12



Artogeia rapae cruising u 1-14



Artogeia rapae cruising u 1-14a



Artogeia rapae cruising u 1-15



Artogeia rapae cruising u 1-16



Artogeia rapae cruising u 1-18



Artogeia rapae cruising u 1-23



Artogeia rapae cruising u 1-25



Artogeia rapae cruising u 1-26



Artogeia rapae cruising u 1-30



Artogeia rapae cruising u 1-32



כתום-כנף המצילתיים - זוג בחיזור



לבנין צלף, האטה לקראת נחיתה



דנאית תפוח-סדום ריחוף, חבטת כנף מטה



זנב-סנונית נאה, ריחוף, תחילת תנועת הכנף כלפי מעלה





עש





מטרה - כלי תעופה זעיר דמוי פרפר

אפיון הכלי הנדרש :

כלי טיס זעיר, מנפנף, המסוגל לעוף למרחק, בעל יכולת נשיאת מטעד

בעיות טכנולוגיות של בניית ה"פרפר":

בניית כנפיים דקות גמישות וקלות.
דימוי תנועת הכנף ותדירות הנפנוף.
מנוע זעיר ומקור אנרגיה להנעתו.
תמסורת מכנית בין המנוע לכנף.
היגוי ובקרת טיסה (יציבות).

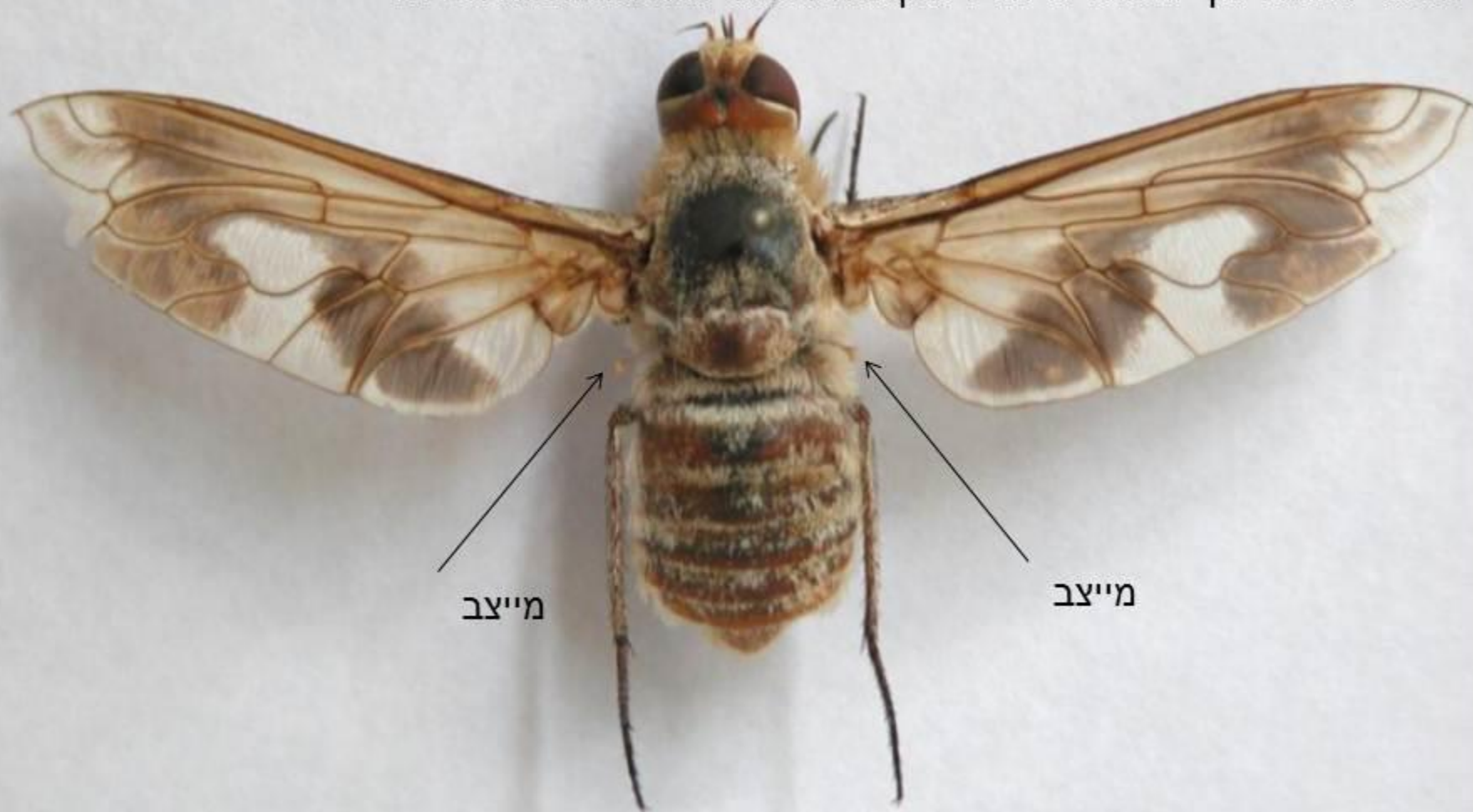
שליטה במעוף ה"פרפר"

שליטה ידנית אלחוטית מהקרקע.

מטעד

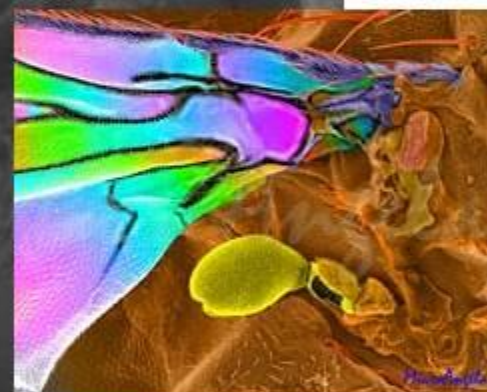
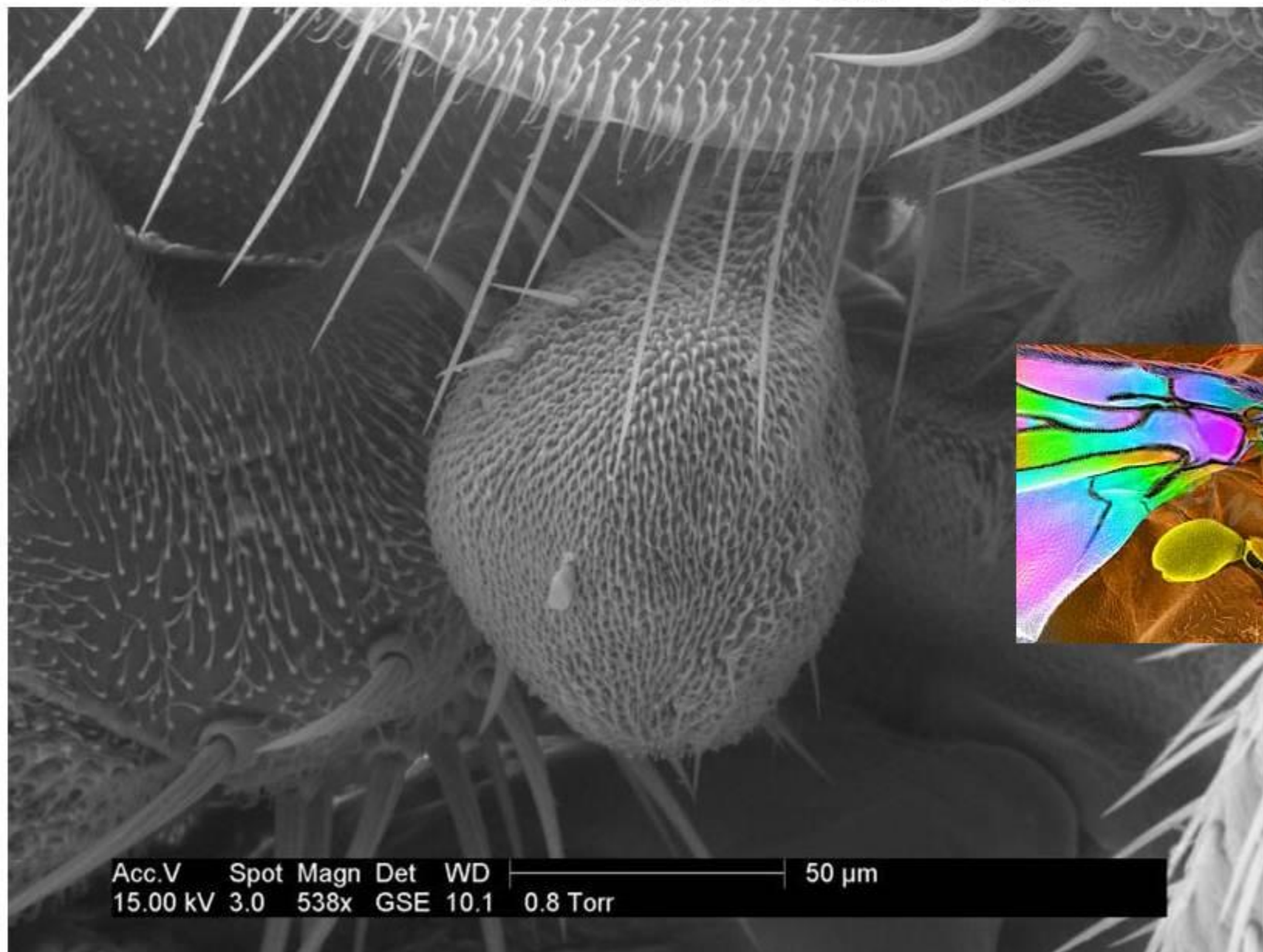
מצלמה זעירה/ מסרטה

לכל הזבובים יש שתי כנפיים מנוונות המסומנות בצילום כ"מייצב", תפקידם לעזור בכיוון המעוף ולהתמצאות מרחבית - באנגלית נקרא "הלטר" אפשר לדמות כנף מנוונת זו לג'ירוסקופ המשמש להתמצאות מרחבית.



Exoprosopa aff. grandis

המייצב – "הלטר" בצילום מקרוסקופי





בהצלחה במעוף הפרטי שלכם

דובי בנימיני מחבר הספר "גינת הפרפרים בישראל"