



# רחפנים 101



סוגי רחפנים, כיווני הרחפון, חלקי הרחפון,  
אלקטרוניקה ברחפון, הטסת רחפון.  
כתבו – אורן חן, אורי טלאור





# לפני הכל בטיחות

- אין לטפל ברחפן שמחוברת אליו סוללה, ללא הסרת הלהבים תחילה
- חובה לבדוק טווח רדיו לפני יום הטסה
- יש לבצע בד"ח – בדיקות חיוניות, לפני כל הטסה, לוודא תקינות המכלולים והחיבורים.
- אין להמריא עם רחפן שיש בו תקלה נראית לעין, שבר או הפרעת רדיו

הוראות החוק מפורסמות באתר רשות התעופה האזרחית [cca.gov.il](http://cca.gov.il)



**CAA** **תא"א**

מדינת ישראל  
משרד התעופה והאזרחות



## כללים להטסת טיסנים מסוג רב-להב (רחפן)

טיסני יקר  
רכישת זה עתה טיסן מסוג רב-להב. נא הקדש מספר דקות וקרא בעין את הדברים הבאים כדי שתוכל להטיס בבטיחות ובבטחה.

### הטסת רב-להב - כללי עשה ואל תעשה

#### עשה

#### אל תעשה

- ✓ קרא את חוברת ההפעלה של הרב-להב והקפד על כללי הבטיחות של היצרן
- ✓ הטס על פי מנגלות החוק
- ✓ הטס בקשר עין בלבד!
- ✓ טבה טיובי להטסה 50 מטר מעל פני השטח
- ✓ התרחק 2 ק"מ לפחות ממסלולי שדות תעופה
- ✓ הצטרף לבעל רישיון להפעלת טיסנים כדוגמת קלוב התעופה הישראלי וקבל הורכה בהטסת הטיסן

- ✗ אל תטיס ליד שדות תעופה או בקרבת מטוסים באוויר
- ✗ אל תטיס בתוך שכונת מגורים, ליד מבני ציבור, או התקהלות בני אדם, התרחק לפחות 250 מטר
- ✗ אל תטיס מעל או בקרבת אנשים
- ✗ אל תטיס באזורים אסורים (מיקום אזורים אסורים ניתן למצוא באתר רת"א)
- ✗ אל תטיס בצורה פזיזה שמסכנת חיים או רכוש
- ✗ אסורה עבודה מסחרית ללא רישיון

את התקנות הטסת הטיסנים ניתן למצוא בתוספת הטיס והפעלה כל טיסן וכללי טיסנה, (תקס"ב 1981-באותו רשות התעופה האזרחית לישראל), בקישור הבא [cca.gov.il](http://cca.gov.il)





## מהו רחפן בעצם?

הגדרות הרחפן הישתנו עם השנים ועדיין עוברות שינויים, ננסה להגדיר באופן כללי את הרחפן שלנו:

- הרחפן שלנו הוא כלי טיס בלתי מאוייש היוצר עילוי באמצעות מערכות להבים. יצירת העילוי דומה יותר למסוק מאשר למטוס
- לרוב הרחפנים שלושה להבים או יותר והמכניקה בהם פשוטה
- הרחפן קל לשליטה בהטסות, ניהול ההטסה בעזרת בקר טיסה
- נכון להיום, רוב הרחפנים בעלי זווית פסיעה קבועה, להבדיל מסוק המשתמש במערכת להבים מורכבת עם זווית פסיעה משתנה





# סוגי רחפנים

ישנם סוגים רבים של רחפנים. רובם נקראים בשמות ע"פ מספר המנועים שמשמשים אותם על מנת ליצור עילוי ותנועה.



Quad I



Quad X



Hex I



Hex V



Hex Y



Hex IV



Oct X



Oct I



Oct V

- טריקופטר - שלושה מנועים.
- קוודקופטר - ארבעה מנועים.
- פנטהקופטר - חמישה מנועים.
- הקסקופטר - שישה מנועים.
- אוקטוקופטר - שמונה מנועים.

רחפנים יכולים להיות שונים גם בכיוון הרחפן- איפה מוגדרת חזית הרחפן (X או +).  
שיקולים בבחירת כמות המנועים:

ככל שיש יותר מנועים כך ניתן לסחוב יותר מטען (יותר כוח עילוי) היציבות עולה והשרידות משתפרת.

אם זאת גם המחיר עולה והזריזות בטיסה יורדת





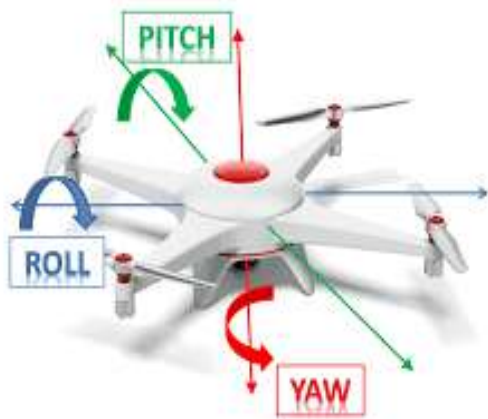
# אז מה נבחר?

- אנחנו בחרנו לעבוד עם קוודקופטר בעל ארבעה מנועים. מדוע?
  - זה הרחפן הנפוץ ביותר נכון להיום ולכן עלותו נמוכה ויחסית קל להעשיר את הידע לגביו ולטפל בתקלות בו באופן עצמאי.
  - זהו רחפן פשוט יחסית ומטרתנו היא ללמוד כיצד בונים רחפן בסיסי ולהתחיל להיכנס לעולם מרתק זה.





# צירים ומצבים ברחפן



## ○ צירים:

לרחפן צירי תנועה בדומה לצירי המטוס:

- סבסוב (YAW) - ציר התנועה של המטוס בפניה ימינה או שמאל
- גלגול (ROLL) - ציר התנועה של המטוס כאשר הוא מתגלגל סביב ציר האורך המרכזי (עושה "רול"), כנף אחת עולה והשני יורדת.)
- עלרווד (PITCH) - ציר התנועה של המטוס כרוצה לעלות או להוריד את חלקו הקדמי כמו בנסיקה או בנחיתה.

## ○ מצבים:

התקנים שמחוברים לבקר הטיסה מאפשרים עזרה בהטסה, ניתן להפעיל לפי הצורך:

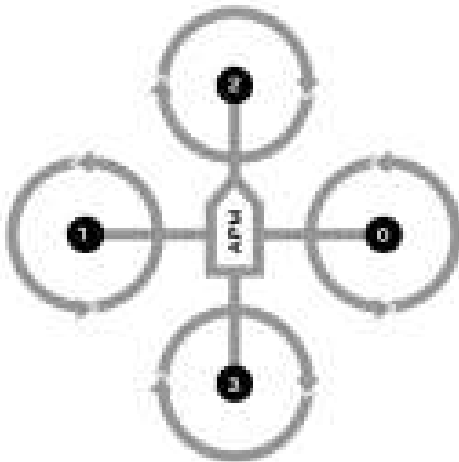
- Altitude – תנועה חופשית במרחב, הבקר ישמור על הגובה
- GPS – תנועה חופשית במרחב, הבקר יעצור את תנועת הרחפן כאשר הסטיקים במצב ניטרלי
- Stabilized – מעצים את יכולות הייצוב בבקר ומאפשר טיסה יציבה יותר





# איך זה עובד?

○ במסוק ישנו מדחף גדול המסתובב מעל גוף המסוק.  
ע"פ חוקי תנועה פיזיקליים משהו שמסתובב באוויר אמור לסובב את חלקו השני באותה מהירות- גוף המסוק אמור להסתובב ביחד עם המדחף.  
למה זה לא קורה? בגלל שלמסוק יש מדחף קטן נוסף הממוקם בזנב ומונע מגוף המסוק להסתובב ביחד עם המדחף.



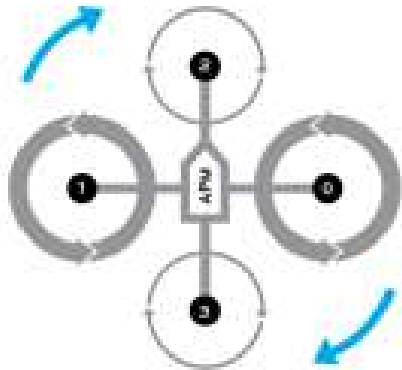
○ ברחפן לאומת זאת מסתובבים ארבעה מדחפים בו זמנית. אם כולם יסתובבו לאותו הכיוון ירחש אותו אפקט כמו במסוק והרחפן יסתובב ללא שליטה.  
לכן ברחפן זוג מדחפים נגדיים מסתובבים עם כיוון השעון (CW), והזוג השני מסתובב נגד כיוון השעון (CCW).  
כך הם מבטלים את אפקט הסיבוב זה של זה והרחפן נשאר יציב.





# איך שולטים על הרחפן? איך הוא מתקדם?

- גובה (Altitude) – עליה וירידה באוויר- כדי לעלות או להוריד את גובה הרחפן באוויר, נגביר או ננמיך את מהירותם של כל המנועים ביחד.



- סבסוב (Yaw) - פניות ימינה ושמאלה- נסובב את הרחפן על ציר הסבסוב דרך הגדלת מהירות הסיבוב של שני מדחפים נגדיים והורדת מהירות הסיבוב של שני המדחפים האחרים. כך הרחפן יפנה ימינה או שמאלה אבל לא יעלה או ירד.

- גלגול (Roll) - הטיית הרחפן ימינה ושמאלה- נגרום להטיית הרחפן על ציר הגלגול דרך הגדלת הסיבוב של שני מדחפים סמוכים והורדת מהירות הסיבוב של שני המדחפים האחרים. כך ייווצר לנו יותר דחף בצד אחד של הרחפן והוא יתגלגל בהתאם, אך לא יעלה או ירד.





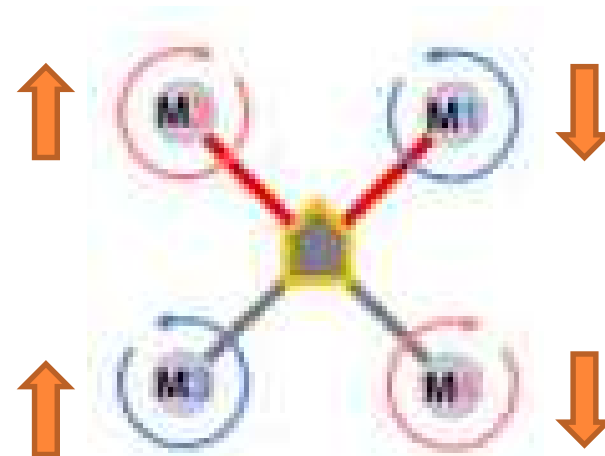
# איך שולטים על הרחפן? איך הוא מתקדם?

○ עלרוד (Pitch) - הטיה קדימה ואחורה - על מנת להטות את הרחפן קדימה ואחורה נגביר את מהירות הסיבוב של שני מדחפים סמוכים ונפחית ממהירותם של שני המנועים האחרים. כך הרחפן יינטה לכיוון הרצוי אבל לא יעלה או ירד.

❖ הטיה קדימה ואחורה של הרחפן זהה להטייתו ימינה ושמאלה אבל זוג המנועים שונה.



הטיה קדימה



הטיה ימינה



# חלקי הרחפן - מסגרת



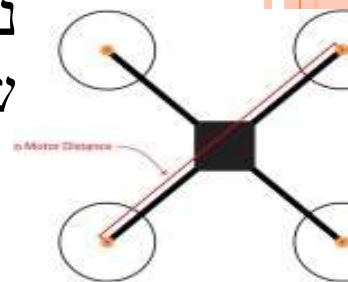
○ המסגרת (Frame) - מסגרת הרחפן זהו המבנה שמחזיק את כל החלקים ביחד.

המסגרת צריכה להיות חזקה, נוקשה ולמנוע רעידות מהמנועים. החומרים הנפוצים לבניית המסגרת הם: סיבי פחמן, אלומיניום ועץ. סיבי פחמן הכי חזקים ולא מעבירים רעידות אך יקרים באופן משמעותי.



עץ הוא בסיס טוב להתנסות לכן מתאים מאוד לרחפן בבניה עצמית ובנוסף הוא גם חזק וקל באופן יחסי.

❖ מושג חשוב: אורך מנוע למנוע- המרחק בין המנועים (אורך הזרועות) נמדד כמרחק בין מנוע למנוע נגדי לו (מולו). משמש אותנו כדי לוודא שהמדחפים רחוקים דיים זה מזה ולא יתנגשו אחד בשני.





# חלקי הרחפן - מסגרת

המסגרת מורכבת משלושה חלקים עיקריים שיכולים להיות מאותו חומר או מחומרים שונים:



■ מרכז המסגרת- החלק עליו נמצאים החלקים האלקטרוניים והסוללה.

■ זרועות- מחברים בין מרכז הרחפן למנועים, צריכים למנוע מתנודות שמקורן במנועים להשפיע זה על זה ועל מרכז הרחפן.



■ תושבות המנועים- עליהן מורכבים המנועים והם מחוברים לזרועות.



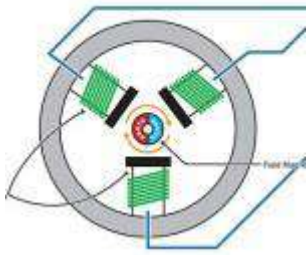
■ כני נסע- נושאים את משקל הרחפן כאשר הוא על הקרקע, מונעים מלכלוך וצמחים להגיע אל המנועים, יכולים לשמש מנגנון שיכוך בנחיתה.





# חלקי הרחפן - מנועים

- אנו משתמשים במנוע ללא מברשת (Brushless Motors), מנוע זה משתמש בסלילים קבועים שיוצרים שדה חשמלי אשר מסובבים מערכת מגנטים



- מערכת מגנטים פנימית Inrunner
- מערכת מגנטים חיצונית Outrunner

- ❖ לפני המצאת המנועים ללא מברשת היו מנועים בעלי מברשת שבהם המגנט היה קבוע והסלילים היו סובבים. מנועים אלו היו מתחממים, פחות יעילים אנרגטית וצורכים יותר זרם. ולכן קוראים כיום למנועים המודרניים "מנוע ללא מברשת" ולא פשוט מנוע.





# חלקי הרחפן - מנועים

- מנועים ללא מברשת מגיעים במגוון סוגים. כאשר בוחרים מנוע צריך לשים לב למשקל המנוע, גודלו, האם הוא מתאים למדחף בו אנו רוצים להשתמש, צריכת הזרם ומהירותו לכל וולט.
  - ❖ מושג חשוב: דירוג KV (Kv-rating), זהו נתון על המנוע אשר מצביע על מספר הסיבובים שיכול מנוע מסוים לעשות בדקה (RPM) עבור כל 1 וולט מתח שיספקו לו.
  - את סך הסיבובים בדקה שיעשה המנוע מחשבים לפי הכפלת דירוג KV במספר הוולטים אותם נספק למנוע  $RPM = Kv * V$ .
- דירוג זה מצביע על מהירות סיבוב המדחף הצפויה וכן את הרגישות של המנוע לשינוי מתח





## חלקי הרחפן - מדחף

- המנועים שמחוברים בקצי הזרועות מניעים מדחפים, הם יוצרים את העילוי.
- בניגוד למסוקים, לרוב רחפנים משתמשים במדחפים בעלי זווית פסיעה קבועה ומהירות סיבוב משתנה. (אצל מסוקים הזווית משתנה והמהירות קבועה)
- חדי ההבחנה יוכלו לזהות כי המדחפים אינם זהים זה לזה. זוג אחד מוטה לימין (עם כיוון השעון) בעוד הזוג השני מוטה לשמאל (נגד כיוון השעון). השוני משפיע על כיוון סיבוב שונה של המנועים (כדי לבטל את סיבוב הגוף) אך אינו פוגע בעילוי או ביציבות.
- ❖ מושג חשוב: TRUST - מושג שמתאר כמה דחף מנוע מייצר ביחידות משקל, במקרה שלנו נמדוד בגרמים.





# חלקי הרחפן - מדחף

○ על מנת לבחור את המדחף המתאים יש לקחת בחשבון מספר משתנים:

1. זווית הפסיעה של המדחף

2. כיוון הפסיעה (עם השעון CW, נגד השעון CCW)

3. גודל המדחף (קוטרו)

○ זווית הפסיעה היא הכיפוף של כנפי המדחף. זווית זאת נמדדת ע"פ כמה אינצ'ים (יחידת מידה אמריקאית, בערך 2.5 סנטימטרים) המדחף מתקדם בכל סיבוב (בתנאי במעבדה). ככל שזווית זאת יותר גדולה, המדחף יצור יותר דחף אבל יהיה לו פחות כח במהירויות נמוכות

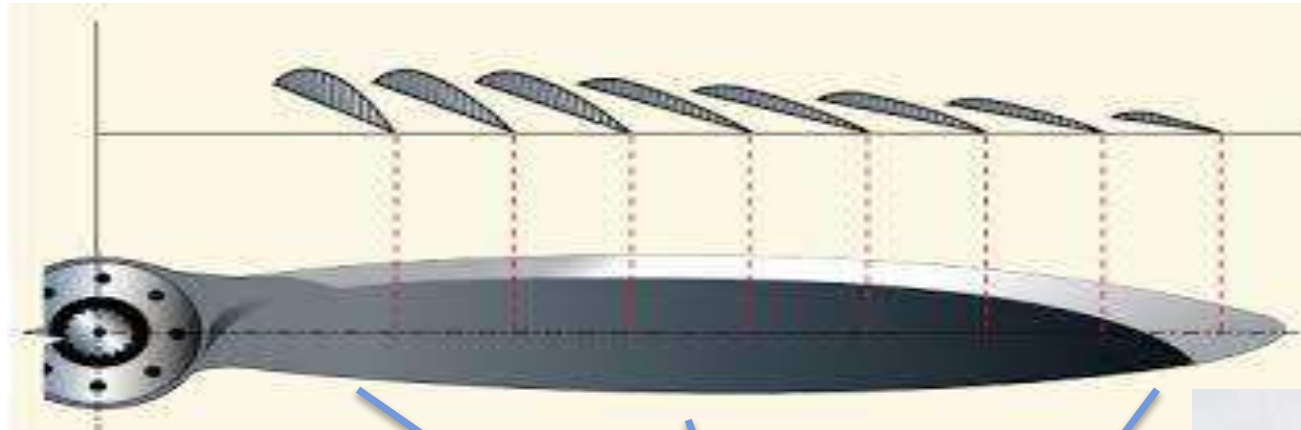




רובוטים ואוטומטים - החטיבה

# חלקי הרחפן - מדחף

- חשוב להבין- זווית המדחף משתנה לאורך המדחף כיוון שמהירות הסיבוב משתנה מקצה לקצה. זווית הפסיעה בצמוד למנוע גדולה מזווית הפסיעה בקצה המדחף- זאת כיוון שהחלק החיצוני של המדחף מסתובב מהר יותר מחלקו הפנימי. (עובר יותר דרך בכל סיבוב).





## חלקי הרחפן - מדחף

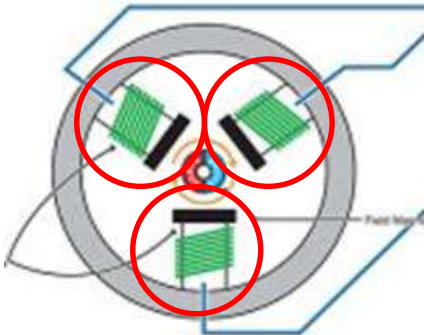
- גודל המדחף נימדד בקוטר שלו (אורך מצד אחד לצד שני) לרוב ככל שהמדחף יותר גדול כך הוא יכול ליצור יותר דחף אבל דרוש יותר כוח כדי להניע אותו.
- ממשק מנוע-מדחף: לפי דרישות הרחפן והציוד הקיים נוכל להתאים למנועים מדחפים:  
לקבלת מהירות נבחר מדחף בעל פסיעה גדולה יותר  
לקבלת כוח נבחר קוטר מדחף גדול יותר





# חלקי הרחפן – ESC(בקר)

- במנוע ללא מברשת ישנם מספר "סלילים" (כמו המסומנים בתמונה), באם כל השלבים יקבלו זרם בבת אחת המנוע לא יזוז.
- על מנת להניע את המנוע דרוש בקר שינהל את תזמון העברת הזרמים בין הסלילים
- ככל שהבקר ישנה את חלוקת הזרמים מהר יותר המנוע יסתובב מהר יותר
- צריכת הזרם של המנוע נקבעת ע"י המנוע, ככול ש"יותר קשה" למנוע להסתובב הוא ידרוש יותר זרם
- חשוב להתאים את הבקר שלנו שיוכל לתמוך בצריכת הזרם המקסימלית שהמנוע יכול לדרוש התעלמות מנתון זה תשרוף את הבקר





## חלקי הרחפון – ESC (בקר)

- הבקר מפצל את הזרם הישיר שמגיע מהסוללה (DC) בין סלילי המנוע
- הבקר מנהל את מהירות המנוע לפי הוראות שמשודר לו מחשב הטיסה
- ישנם שני סוגי בקרים:
  1. ESC opto – מעביר זרם רק למנועים לכן צריך סוללה נוספת ליחידת השליטה והרדיו.
  2. ESC ubec – כולל המרת זרם ליחידת השליטה, לכן ניתן להשתמש באותה סוללה למנועים וליחידת השליטה
- חוזק הבקר נמדד באמפרים- ככל שמספר האמפרים גבוה יותר כך הבקר מסוגל להעביר יותר זרם





רובוטיקה ורובוטיקה - תוכנית



## חלקי הרחפן – מחשב טיסה

- מחשב הטיסה אחראי לקלוט את הפקודה מהשלט ולהמיר אותה להוראות לבקרים ומשם למנועים (הגברה והנמכת עוצמה).
- מחשבי טיסה יכולים להכיל הכל או חלק מהחיישנים הבאים:  
מד תאוצה (3DOF), 3DOF + ג'ירוסקופ (6DOF), 6DOF +  
מגנומטר (9DOF), 9DOF + ברומטר (10DOF),  
10DOF + ג'י פי אס (11DOF) שמנתרים את כיוון הרחפן ויודעים לייצב אותו ולדאוג לטיסה קלה וחלקה יותר.
- הנייז 32 בו אנחנו משתמשים מכיל את רוב החיישנים, ניתן להגדרה בתצורות שונות בהתאם לרמת ההטסה המבוקשת. הוא מחשב טיסה מתקדם מאוד ופשוט באופן יחסי ולכן נבחר לרחפן שלנו.





חברת רובוטיקה - תל אביב

הארה  
תוכניות העשרה בע"מ

# חלקי הרחפן - סוללות

○ סוללות LIPO הן סוללות ליתיום-פולימר. אלו הסוללות המומלצות לרחפנים. יתרונותיהן: קלות מרוב הסוללות ביחס לקיבולת שלהן, בעלות קצב טעינה ופריקה גבוה.

חסרונותיהן: טיפול לא נכון עלול להרוס אותן, מתח יורד לאורך זמן ההטסה, מסוכנות- עלולות להתפוצץ בטיפול לא נכון, עבודה לא זהירה עלולה לגרום לקצר שיוביל לכוויות ושריפות.



○ לכל סוללה שני מאפיינים עיקריים: קיבולת וכוח.

○ סוללות אלו נמצאות בדרך כלל על הרחפן עצמו ומספקות זרם למנועים ולבקרים וגם בשלט בו אנחנו משתמשים.





רובוטים פונקציונליים - דורסטים

הארנה

תוכניות העשרה בע"מ

# חלקי הרחפן - סוללות

## ○ מתח הסוללה

מתח הסוללה נמדד בוולט (V). ככל שהמתח גבוה יותר כך היא מסוגלת להניע מנוע מהר יותר.

מתח תא יחיד במצב טעון  $4.2\text{ V}$  ובמצב פרוק  $3.7\text{ V}$ .  
המתח הסופי מתקבל בחיבור טורי של מספר תאים

לדוגמא: בסוללה שלפנינו שני תאים. לכן היא יכולה לספק  $8.4\text{ V}$  במצב טעון ו  $7.4\text{ V}$  כשהיא פרוקה.

חשוב להבין: חסרונה של סוללת **LIPO** בנפילת המתח,  
ככול שהסוללה נפרקת המתח המקסימלי שהיא מוציאה יורד  $\leq$   
מהירות המנוע המקסימלית יורדת.



תוכניות סיוע - דסמ"מ

הארה  
תוכניות העשרה בע"מ

# חלקי הרחפן - סוללות

## ○ קיבולת סוללות

קיבולת הסוללה היא בעצם כמה "הספק" הסוללה יכולה להכיל.  
קיבולת זאת היא שילוב של מתח הסוללה (V) והזרם (I).  
הערך (MAH) מיליאמפר שעה – בעצם כמה זרם קבוע יכולה הסוללה לספק במשך שעה.



לדוגמא:

הסוללה שלפנינו היא סוללת  
3300 mpa – כמו שכתוב בגדול.  
המשמעות היא שסוללה זאת יכולה לספק  
3300 מילי-אמפר (או 3.3 אמפר A)  
בזרם קבוע במשך שעה.





תוכניות העשרה בע"מ

הארה  
תוכניות העשרה בע"מ

# חלקי הרחפן - סוללות

## ○ מקדם ה C של הסוללה והשפעתו על טעינה/פריקה

לכל סוללה מקדם C (Capacity) משלה והוא מספר זהה לאמפר שעה שלה לדוגמה: סוללת 2200 MAH היא סוללת 2.2 אמפר שעה ולכן ה C שלה יהיה 2.2.

בטעינה - מקובל לטעון סוללת ליפוי ב עד C1, בדוגמה שלנו בזרם של עד 2.2 אמפר. טעינה בזרם גדול מזה שהסוללה מתוכננת יזיק ואף עשוי לגרום לשרפת הסוללה.

בפריקה - לכל סוללה ערך פריקה משלה והוא שמגדיר כמה זרם הסוללה יכולה להוציא, בדוגמה שלנו ערך הפריקה הוא 20, המשמעות היא שהסוללה הזו יכולה להוציא ברגע נתון עד זרם שגדול עד פי 20 מה C שלה בדוגמה שלנו  $20 * 2.2 = 44 \text{Amp}$ .

## אין לעבור את מגבלות הסוללה





# חלקי הרחפן - סוללות

- מטען (Charger) – מערכת ממוחשבת שטוענת את הסוללות לפי לפי הגדרות מותאמת לסוללה
- מאזן (Balancer) - מערכת שמאזנת את המתח בין תאי הסוללה ללא שימוש במאזן יכול להווצר מצב בו התאים יהיו טעונים במתחים שונים מה שעלול להוביל לקילקול הסוללה ואף לפיצוץ.





# כללי שמירה על סוללות

○ לסוללות ליפן חיים משל עצמם. כך נשמור עליהן:

1. שימוש מתאים ליתר הרכיבים ברחפן – מנוע ובקר
2. שמירה פיסית על הסוללה מנזקים
3. שמירה על מחברים נכונים ושלמים עם הלחמות טובות
4. טעינה רק במטען יעודי לסוללות ליפן, לבצע טעינה עם מאזן
5. להטעין רק בהשגחה ובכלי חסין אש
6. לא להטעין בקצב גבוה מ 1 C. כדאי להטעין בקצב איטי ככל שניתן -  $C \frac{1}{2}$
7. לא לפרוק את הסוללה מתחת למתח של 3.7v
8. אם מתח תא יורד מ 3.7 וולט – לא טוב. זה קורה שפורקים יתר על המידה
9. לבדוק מתח סוללות לפני כל טיסה. אם פחות מ 4.2 \* מס' התאים. לא טוב!  
עדיף לא לאחסן לתקופה ממושכות במצב טעון מלא, אלא 60% טעינה בלבד.



## מערכות רדיו

- על מנת לשלוט ברחפן שלנו אנחנו משתמשים במערכת רדיו.
- מערכת רדיו מורכבת משני קצוות: משדר אצל המטיס ומקלט על כלי הטייס. במקרה שלנו – רחפן.
- בטיסנים השליטה בהגאים מבוצעת על ידי רכיב שנראה סרוו. ברחפן אין לנו צורך בסרוואים כיוון שהשליטה בו נעשית ע"י שינוי עוצמות המנועים כמו שלמדנו בתחילת המצגת.





# מערכות רדיו - תדר

- ישנם שני סוגי תדרים בשימוש נפוץ לשליטה בכלים הנשלטים ע"י שלט רחוק ע"פ חוק- תדרי 72 MHz ותדרי 2.4 GHz
- מערכות רדיו המשתמשות בתדר 72 MHz, מהדור הישן, מתאפיינות באנטנה ארוכה, מתכתית ותדר צר ומדויק מאוד (לכל שלט תדר מ 72.001 עד 72.999). מקלטים אלו מחלקים תדר מסוים המשודר ע"י המשדר ונקלט ע"י המקלט.
- ניתן להעביר מעט נתונים בתדר זה והבעיה העיקרית היא שיכולות להיווצר בו הפרעות רבות החל ממקדחה שעובדת ומייצרת הפרעות ועד מטיס נוסף שמשתמש באותו התדר ומשביט לנו את השליטה בטיסן.





רובוטים פונקציונליים - החברים

# מערכות רדיו - תדר

- התדר הנוסף בשימוש נפוץ הוא 2.4 GHz הוא מתאפיין באנטנה קצרה מפלסטיק, וישנו סיכוי נמוך מאוד לתקלות
- מערכות אלו משתמשות בתדר גבוהה יותר, מערכות אלו משדרות דרך מספר ערוצים במקביל כך שאם ישנה הפרעת רדיו בתדר אחד היא תתוקן בשידור שנקלט בתדר אחר
- למערכות אלו יש לבצע צימות (הצמדה) בין המקלט למשדר לפני תחילת העבודה.  
צימות עוזר למקלט לזהות את אות שמגיע מהמשדר שלו ונקות את רעשי הרקע
- בהמשך נלמד על שיטות שידור שונות ואיך הן מונעות הפרעות בין המקלט למשדר בזמן טיסה

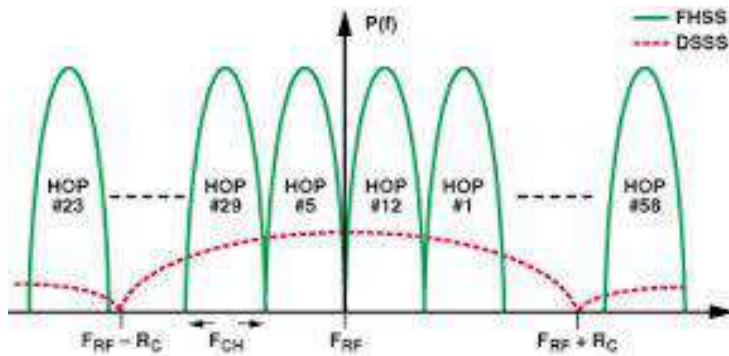




# מערכות רדיו – שיטות שידור

- תדר 72 שיטת השידור היא פשוטה כמו ברדיו FM, ישנו מקלט ומשדר ושניהם מכוונים על אותו תדר ולכן קולטים זה את זה.
- ישנן מספר שיטות שידור שונות בתדר 2.4: DSSS, FHSS, ... FASST, DSM, DSMX

לכולן יש לבצע תהליך צימות אך העברת המידע מעט שונה בין שיטה ושיטה



FUTABA FREQUENCY HOPPING  
SPREAD SPECTRUM





רזרבות חילוסיים - רחסיים

## מערכות רדיו – שיטות שידור

- DSSS (Direct-sequence spread spectrum) – שינוי התדרים מטווח 72 MHz לטווח 2.4 GHz גרר שינוי בשיטת השידור.
- במקום לשדר ישירות על ערוץ יחיד את המידע מערכות DSSS משדרות את המידע על ערוץ רחב במקביל.
- 72 MHz דומה למים שזורמים בצינור ארוך ודק שכל הפרעה יכולה למנוע מהמים לזרום. בטכנולוגיה DSSS המים זורמים במקביל בנחל גדול ואם מופיעות פה ושם אבנים או הפרעות אין זה משפיע על זרימת הנחל כולו.





רזבוסים ושיטות - רחמימים



## מערכות רדיו – שיטות שידור

- **DSM – הטכנולוגיה החדשה ביותר! מתבססת על הטכנולוגיה הקודמת של קפיצות בין תדרים. אבל ב DSM לכל משדר ומקלט יש סט תדרים וקפיצות קבוע ביניהם הם קופצים. בנוסף האות שיוצא מהמשדר מקודד ולכן נקלט רק ע"י המקלט הרלוונטי.**
- **הדבר דומה למים סגולים שקופצים בכל העולם ויכולים להגיע רק לבריכה סגולה ולא לשום בריכה אחרת. לכן מים לבנים או אפורים או כתומים לא מפריעים להם לעבור.**





# מערכות רדיו – שיטות שידור

- Frequency-hopping spread ) FHSS/FASST Futaba Advanced Spread Spectrum /spectrum Technology – הקפיצה הבאה בטכנולוגית השידור היתה שידור בקפיצות. במקום לשדר על כל הטווח בבת אחת את המידע המערכות החדשות קופצות בין ערוצים שונים כדי לשדר את המידע.
- הדבר דומה למים שקופצים בין נחלים שונים וזורמים כל פעם במקום אחר בעולם, לכן הם לא נתקלים בהפרעות כמעט.





## מערכות רדיו – סרוו

- סרוו היא יחידת השליטה שלנו בפונקציות שונות בטיסן. סרוו זה המנוע הבסיס ששולט בחלקים הזזים של הטיסן כדוגמת: מדפים, כנף כיוון, כנף גובה, מצערת וכו'.
- ברחפנים אין לנו סרווים כיוון שכל הכיוון נעשה דרך כיוון של עוצמת המנועים. אך כמטיסים חשוב שנכיר אותם על קצה המזלג.
- ישנם שני משתנים עיקריים בנוגע לסרווים:  
סרוו אנלוגי/דיגיטלי וסוג גלגלי שיניים- ממתכת/פלסטיק.
- אפיונים נוספים של סרווים הם: משקל דחיפה/משיכה, מהירות במתח, גודל ומשקל הסרוו וכו'.

סרוו דיגיטלי	סרוו אנלוגי	
		גלגל שיניים מתכת
		גלגל שיניים פלסטיק





# מערכות רדיו – סרוו

○ ההבדל בין סרוו אנלוגי לדיגיטלי:

סרוו אנלוגי מנהל את מיקום הזרוע ע"י הפרשי פוטנציאלים (מתח) בין דרישת המקלט לערך של נגד משתנה שהזרוע מניעה.

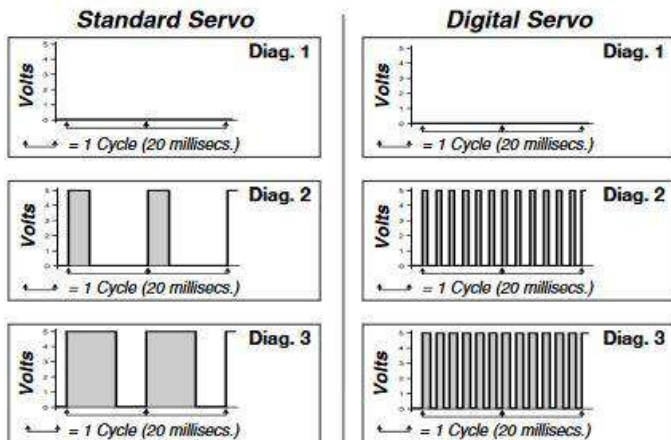


לעומת זאת סרוו דיגיטלי פועל בפקודה כמו מחשב, המידע שמתקבל מהמקלט מנוהל ע"י מערכת ממוחשבת שדוגמת את הנתונים מהסרוו ומניעה אותו בהתאם



יתרון הסרוו הדיגיטלי הוא בהיותו מדוייק יותר מאחר והוא מבצע יותר תיקונים בכל רגע נתון.

חסרונו הוא בצריכת זרם גבוהה יותר





171070505 - חובבים - חובבים

# מערכות רדיו – סרוו

○ ההבדל בין סרוו בעל גלגלי שיניים ממתכת או מפלסטיק:

סרוואים בעלי גלגלי שיניים ממתכת או מפלסטיק מתפקדים באופן דומה מאוד, כמעט זהה. ההבדל העיקרי ביניהם הוא עמידות החומרים (מתכת עמידה יותר מפלסטיק ולכן תחזיק יותר זמן) וכושר הדחיפה/משיכה שלהם (סרוו ממתכת יכול למשוך יותר משקל כיוון החומרים בו יותר חזקים).

לטיסנים רגילים מספיקים סרוואים מפלסטיק, אך בטיסנים גדולים מאוד או שצריכים לעמוד בתנאים מיוחדים (כמו טיסני סילון) לפעמים צריך סרוואים בעלי כושר עמידות גבוה יותר (מתכת).



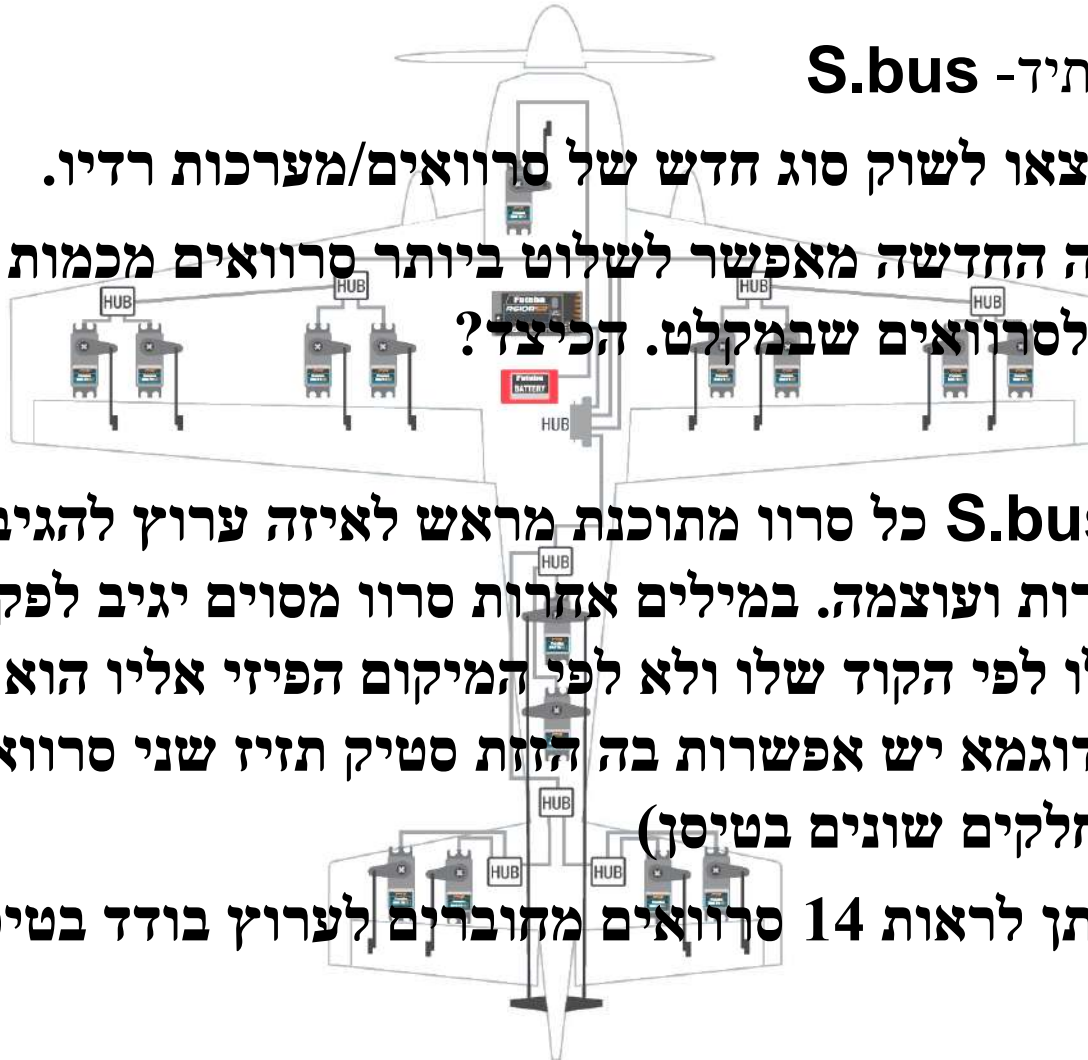


# מערכות רדיו – סרוו

## ○ סרוו העתיד - S.bus

לאחרונה יצאו לשוק סוג חדש של סרוואים/מערכות רדיו.

הטכנולוגיה החדשה מאפשר לשלוט ביותר סרוואים מכמות החיבורים לסרוואים שבמקלט. הכיצד?

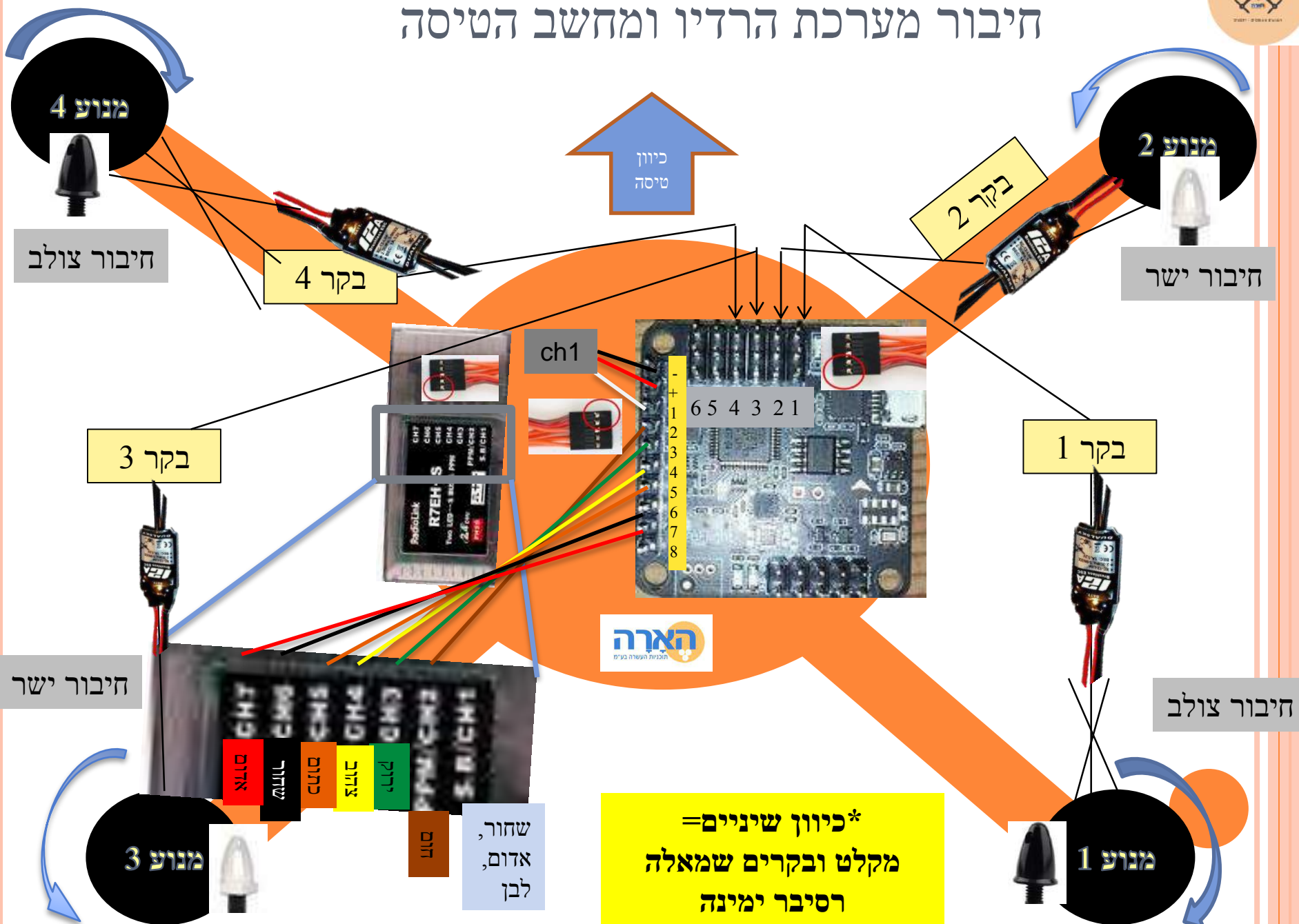


במערכת S.bus כל סרוו מתוכנת מראש לאיזה ערוץ להגיב, באיזה אופן, מהירות ועוצמה. במילים אחרות סרוו מסוים יגיב לפקודה של הערוץ שלו לפי הקוד שלו ולא לפי המיקום הפיזי אליו הוא מחובר במקלט (לדוגמא יש אפשרות בה הזנת סטיק תזיז שני סרוואים במקביל בחלקים שונים בטיסן) # ברקע ניתן לראות 14 סרוואים מחוברים לערוץ בודד בטיסן.





# חיבור מערכת הרדיו ומחשב הטיסה



**מנוע 4**

חיבור צולב

**מנוע 2**

חיבור ישר

כיוון  
טיסה

4 בקר

2 בקר

3 בקר

1 בקר

חיבור ישר

חיבור צולב

**הארה**  
חברת העשרה בע"מ

- אדום
- שחור
- כתום
- צהוב
- ירוק
- לבן

שחור,  
אדום,  
לבן

**\*כיוון שיניים =  
מקלט ובקרים שמאלה  
רסיבר ימינה**

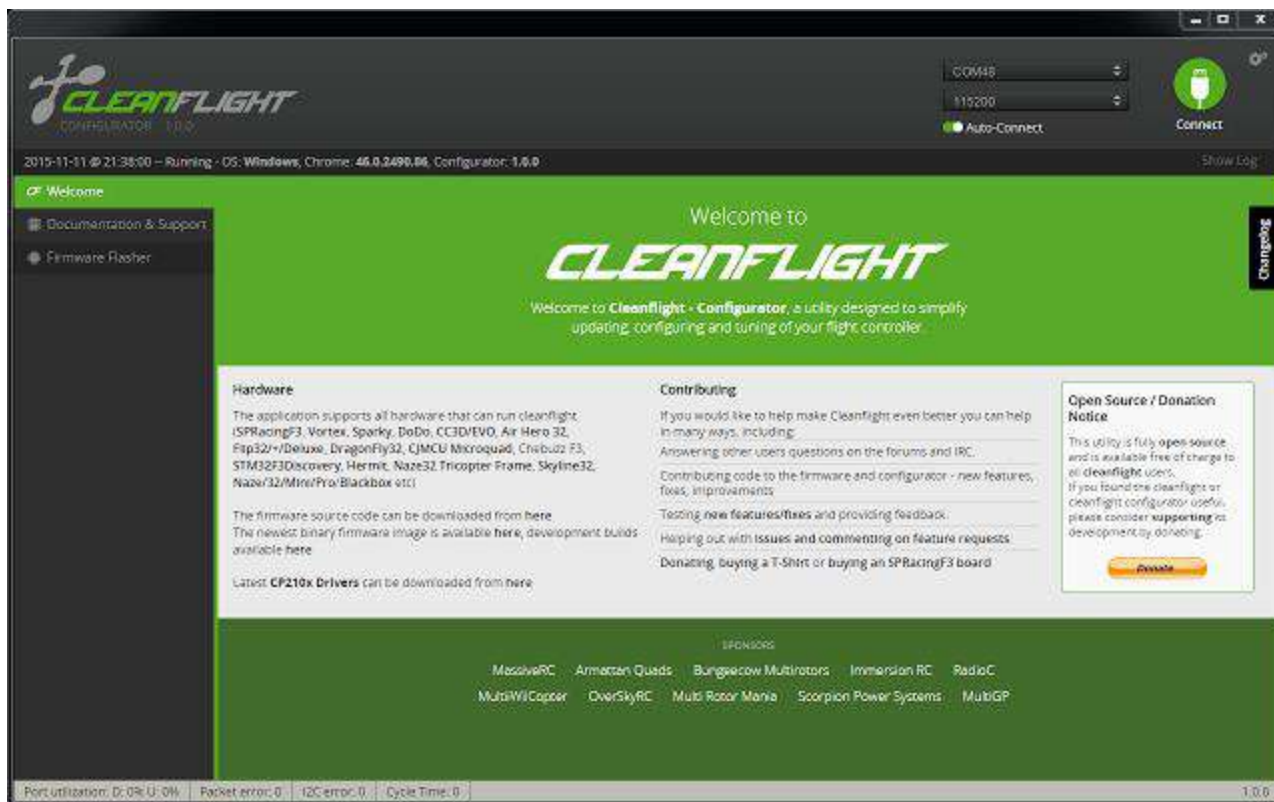
**מנוע 3**

**מנוע 1**



# CLEAN FLIGHT

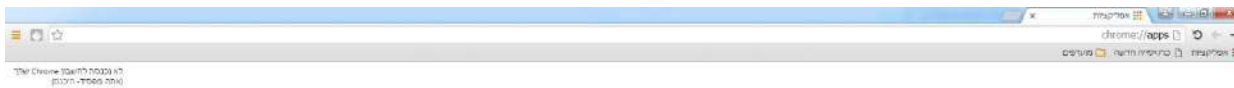
- מערכת open source מהטובות בעולם לתכנות של כלי טיס בלתי מאוישים





# CLEAN FLIGHT - הורדה והתקנה

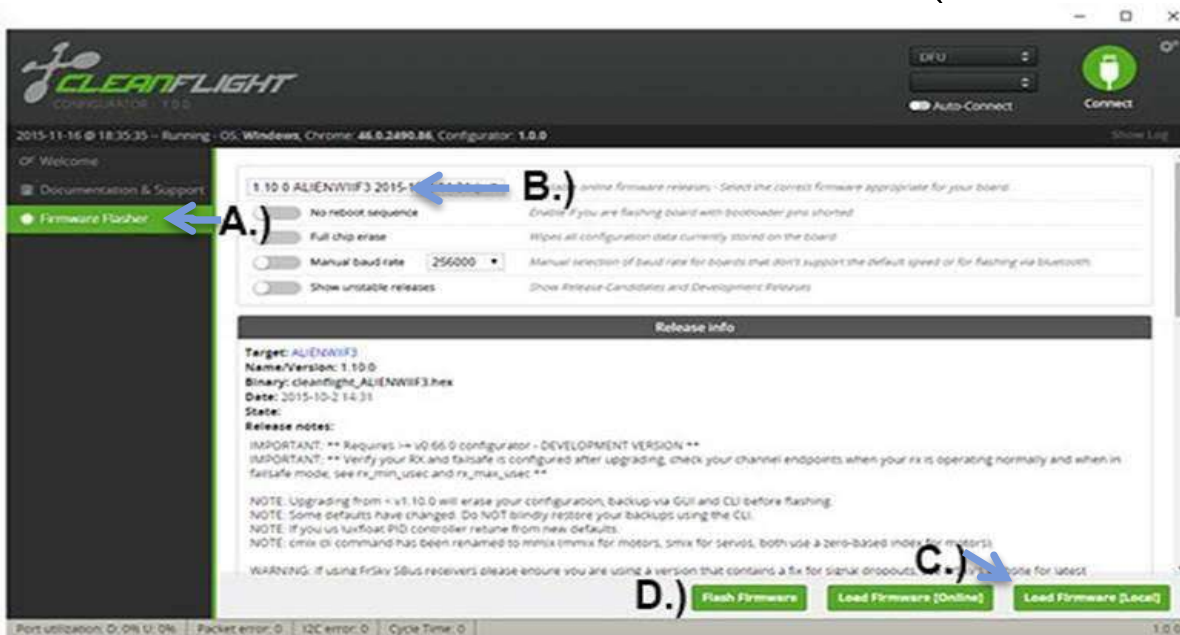
- לחפש ב"google" cleanflight התוצאה הראשונה היא התקנה לדפדפן כרום.
- לאחר ההורדה, יהיה זמין באפליקציות של כרום.





# CLEAN FLIGHT - הגדרות

- לאחר ההורדה יש להעלות את התוכנה גם ל NAZE
- נכנסים לתוכנה ואז נכנסים ללשונית מצד שמאל "firmware flasher" (מסומן ב A)
- בלשונית (מסומנת ב B) לא נוגעים.



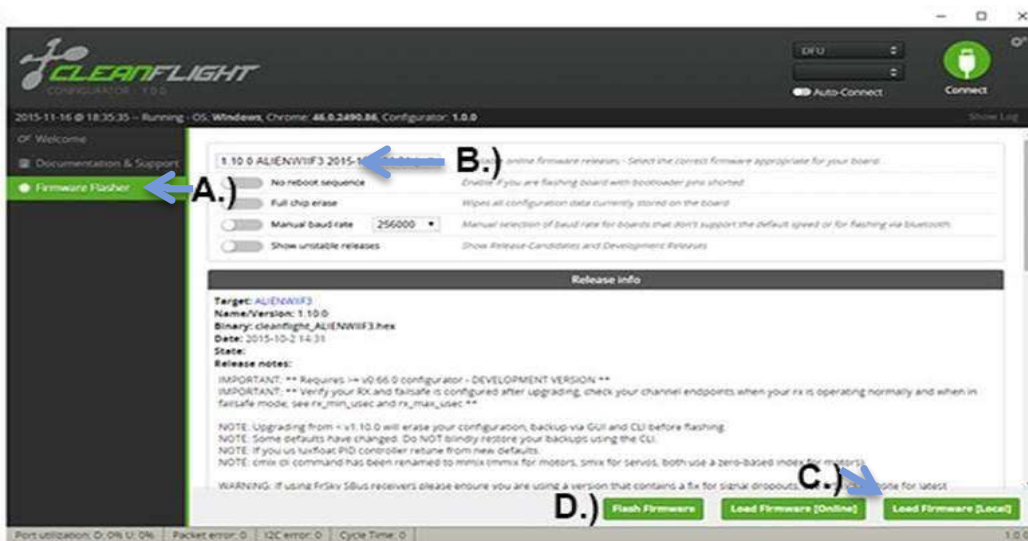


# CLEAN FLIGHT - הגדרות

- לאחר מכן יש ללחוץ על [load firmware [local]] (מסומן ב C) - תפתח חלונית בה עלינו לחפש את הקובץ
- לאחר שטענו את הקובץ יש לחבר את NAZE בחיבור USB למחשב
- וללחוץ flash firmware (מסומן ב D).



metaflight\_t\_2.4.1\_NAZE (1).hex





# CLEAN FLIGHT - הגדרות

2016-04-25 @ 15:03:28 - CLI mode detected

Setup  
Ports  
Configuration  
Failsafe  
PID Tuning  
Receiver  
Modes  
Adjustments  
Servos  
GPS  
Motors  
Race Transponder  
LED Strip  
Sensors  
Tethered Logging  
Blackbox  
CLI

Note: Leaving...  
Entering CLI Mode, type 'exit' to return, or 'help'

```
# dump
# version
# CleanFlight/NAZE 1.9.0 May 31 2015 / 13:17:47 (9827549)
# dump motor
# size:
miser QUADx

# feature
feature -RX_FPM
feature -VBAT
feature -IMFLIGHT_ACC_CAL
feature -RX_SERIAL
feature -MOTOR_STOP
feature -SERVO_TILT
feature -SOFTSERIAL
feature -GPS
feature -FAILSAFE
feature -SONAR
feature -TELEMETRY
feature -CURRENT_METER
feature -3D
feature -RX_PARALLEL_FPM
feature -RX_MSP
feature -RST_ADC
feature -LED_STRIP
feature -DISPLAY
feature -ONESHOT125
feature -BLACKBOX
feature VBAT
feature FAILSAFE
feature RX_PARALLEL_FPM

# msp
msp TARR1234

# serial
```

כעת ה NAZE מסונכן עם המחשב וניתן להתחיל לעבוד איתו.

הדבר הראשון שאנו רוצים לעשות הוא לטעון אל NAZE הגדרות מוכנות מראש לרחפן טורנדו.

ההגדרות נמצאות בקובץ CLI.

עלינו לחבר את NAZE למחשב ולהיכנס ללשונית CLI (כמו בתמונה)

לתוך לשונית זאת בשורת הפקודה יש להעתיק את ההגדרות המופיעות בקובץ CLI.

Port utilization: D: 0% U: 0% Packet error: 0 I2C error: 0 Cycle Time: 3558

1.2.1



# CLEAN FLIGHT - כיוול

- אם עשינו הכל נכון כרגע NAZE מוגדר ומוכן לפעולה אבל עלינו לבדוק שאכן כל ההגדרות סונכרנו כראוי.
- יש לחבר את NAZE למחשב וללחוץ "connect"
- לאחר מכן נכנס ללשונית "CALIBRATE" הנראית כמו בתמונה.
- נוודא שהרחפן מונח על שולחן ישר ונלחץ " calibrate accelerometer"





# RECEIVER - CLEAN FLIGHT

2015-11-20 @ 00:07:33 - Unique device ID receiver - 0x672ff495350836767252552

- Setup
- Ports
- Configuration
- PIO Tuning
- RC Setup**
- Modes
- Adjustments
- Servos
- GPS
- Motors
- LED Strip
- Sensors
- Logging
- Dataflash
- CLI

- לאחר שכיילנו את הרחפן עלינו לבדוק שהרחפן מתואם עם המקלט (שלט).
- נכנס ללשונית receiver כאשר הרחפן מחובר.
- בלשונית זאת עלינו לוודא של ההגאים מכוילים ושולטים על הערוץ הנכון:
  - ✓ נזיז את סטיק המאזנות ימינה – שורה אדומה (roll) אמורה לזוז גם היא ימינה. ובאותו אופן נוודא שכשמזיזים שמאלה אכן השורה זזה שמאלה (מתקצרת).
  - ✓ נבצע up down – שורה סגולה (pitch) זזה- באף מתקצרת ובדאון מתארכת ימינה.
  - ✓ נבצע סבסוב ימינה- עמודה כחולה (yaw) בימין להתארך, בשמאלה להתקצר.
  - ✓ נקדם מצערת לעליה (למעלה) – העמודה התכלת (throttle) אמורה להתארך כאשר הסטיק למעלה ולהתקצר כשהסטיק למטה.

Port Utilization 0 51kb 1% PacketError 0 I2C Error 0 CycleTime 100

## ערוצים בשלט ואחריותם



- גלגול – roll – ימינה , בר אדום זז ימינה.. שמאלה –  
בר אדום זז שמאלה
- עלרוד – pitch – up- - בר סגול נמחק. Down –  
בר סגל מתמלא
- מנוע – full - throttle – בר טורקיז מתמלא
- סבסוב – yaw - ימינה - בר כחול מתמלא. שמאלה -  
בר כחול מתרוקן.
- כיווני שלט – לוחצים על שני כפתורי המוד סימולטנית  
ל 3 שניות נכנסים לתפריט
- לוחצים על כפתור select
- לוחצים על התפריט חץ למעלה כדי לדפדף בין הפקודות

○ פקודה 1 – REN R סרוו רוורס . מעבר  
מרגיל להיפוך באמצעות ה (-) ו ה (+) עוהרים  
בין הערוצים באמצעות SELECT

○ CH 1 NORMAL - מטרה – הסרוו זז  
בכיוון הנכון בדף הcleanflight שנקרא  
receiver

○ Ch 2 – rev

○ Ch 3- rev

○ Ch 4- rev

○ Ch 5- nor

○ Ch 6- nor



# SUB TREAM – פקודה שנייה

מטרה- מרכז סטיק = 1500

Ch1 - +1

Ch2- +22

Ch3- +44 חובה סטיק בדיוק

באמצע

Ch 4- - 6

Ch 5, 6 – לא נוגעים



○ פקודה שלישית - EPA - end point  
- מטרה קצה סטיק שווה 1000 והקצה  
האחר 2000

○ Cha1 - ימינה – 104 . שמאלה 140

○ Ch2 – up - 140 down - 105

○ Ch3 – idle – 130 full - 112

○ Ch4 – שמאלה - 126 . ימינה - 140

○ Ch 5, 6 – לא נוגעים





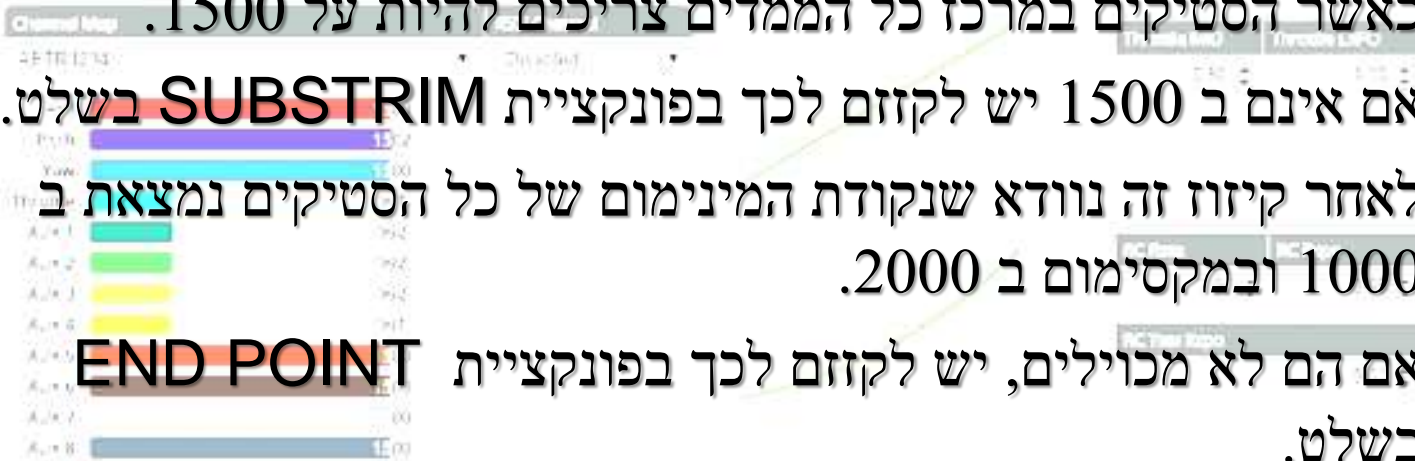
# CLEAN FLIGHT - תאום



2015-11-20 @ 00:07:33 -- Unique device ID received - 0x672ff4953508367252552

- Setup
- Ports
- Configuration
- PIO Tuning
- Beacons**
- Modes
- Adjustments
- Servos
- GPS
- Motors
- LED Strip
- Sensors
- Logging
- Dataflash
- CLI

- אם אחד או יותר מהסטיקים הפוכים (זזים לכיוון הנגדי) יש לעשות היפוך סרוו בשלט לערוץ הרלוונטי.
- כאשר הסטיקים במרכז כל הממדים צריכים להיות על 1500.
- אם אינם ב 1500 יש לקזום לכך בפונקציית **SUBSTRIM** בשלט.
- לאחר קיזוז זה נוודא שנקודת המינימום של כל הסטיקים נמצאת ב 1000 ובמקסימום ב 2000.
- אם הם לא מכוילים, יש לקזום לכך בפונקציית **END POINT** בשלט.



Port utilization: 0 51% 1% PacketError: 0 ICCError: 0 CycleTime: 100%

1/3



# חובה לעשות ללא מדהפים!

2016-02-06 @ 15:38:24 -- Unique device ID received - 0x66eff484955785087105837

Setup  
Ports  
Configuration  
Fallsafe  
PID Tuning  
Receiver  
Modes  
Adjustments  
Servos  
GPS  
**Motors**  
Race Transponder  
LED Strip  
Sensors  
Tethered Logging  
Blackbox  
CLI

Motors

רחפן מנותק וסוללה מנותקת.

מורידים את ההזנה של בקר מספר אחד (מנתקים מ NAZE) מדליקים רדיו (שלט) ופותחים מצערת עד הסוף. מחברים את ה NAZE למחשב מעבירים במחשב את לשונית מאסטר (הימנית- מסומנת) למקסימום.

מחברים את בקר 1 חזרה מחברים סוללה ה NAZE אמור לצפצף- עד שמפסיק. מורידים לשונית מאסטר עד הסוף. מתנקים את הכל ובודקים שהמנועים עובדים.

הארה



# חובה לעשות ללא מדחפים! בדיקת מנועים

- שמים סלוטייפ על ציר המנוע ובודקים שכל המנועים מסתובבים לכיוון הנכון. (לפי הסכמה)
- אם התבלבלנו- מצליבים בין שני חוטים כלשהם שמתחברים למנוע.
- יש לוודא בלשונית PID שערכי הערוצים זהים לערכים בתמונה הנ"ל ואם לא לשנות אותם בהתאם.



PID Tuning

PID Controller: MultiWii (Rewrite) Reset PID Controller Show all PIDs

Name	Proportional	Integral	Derivative
Basic/Acro			
ROLL	4.0	0.008	54
PITCH	4.1	0.008	52
YAW	9.0	0.050	8
Barometer & Sonar/Altitude			
ALT	5.0	0.000	0
VEL	12.0	0.045	1
Angle/Horizon			
	Strength (Angle)	Strength (Horizon)	Transition (Horizon)
LEVEL	3.0	0.030	100





# דגשים להכשרת מדריך הטסה

- המדריך מכיר את חוברת ההדרכה על בוריה
- המדריך מקפיד על כללי הבטיחות ומשקף לחניך את מעשיו
- המדריך מבצע בד"ח לפני כל טיסה
- המדריך מקפיד על שפה מקצועית וברורה בפקודות הניתנות לחניך
- המדריך מתחקר כל טיסה
- המדריך מסביר מה תהא מטרת הטיסה בטרם ההמראה
- המדריך שולט בנעשה בשיעור ולוקח שליטה על פי צורך נכון

