

## השגת איזון

נכתב על ידי **Thomas P. Turner**, תורגם על ידי **איציק מה-יפית**, מתוך **AVweb** מתאריך 26.5.08

הערת המתרגם: לאלה מאיתנו שהנושא התחיל והסתיים במסגרת המבחנים התיאורטיים לקבלת רישיון טייס, הנה עוד קצת הסברים שיעלו את המודעות שלנו לחשיבות הנושא. המאמר מאיר מספר נקודות, שתוך כדי תפעול מעשי של המטוס, איננו ערים להם - מרכז כובד קדמי או אחורי והשפעתם על הטיסה והתפעול שלנו.

אני מניח שאלה הזוכרים את המטוס שנמרח על החר לאחר ההמראה מירושלים, זקוקים לפחות עידוד בקריאת המאמר.

האחים רייט הצליחו כיוון ששילבו שני אלמנטים חיוניים בתכנון מטוס: שליטה ויציבות. ווילבור ואורוויל השיגו שליטה על ידי תכנון נחשוני, שהתפתח למה שמשמש בכמעט כל המטוסים בעלי כנף קבועה כיום - מערכת העושה שימוש ביציבות מתוכננת במטוס. יכולת שליטה אינה יכולה להתקיים ללא מספר אמצעי יציבות. יציבות, בתורה, מושפעת על ידי מספר גורמים. משתנה אחד אפילו עובר שינוי במהלך טיסה בודדת - מיקום מרכז הכובד (CG).

מתי לאחרונה חיבתם משקל ואיזון של מטוס? איזו השפעה מעשית הייתה לידיעה של מיקום מרכז הכובד על תכנון הטיסה שלכם? מה קרה ליציבות המטוס שלכם לאחר שצרכתם דלק בטיסה?

### חישוב העומס

על ידי חישוב מיקום CG, אתם יכולים לצפות כיצד המטוס יתפקד. במספר מטוסים, התפקוד יכול להשתנות מאד בשינויים של מיקום CG. אם CG מעבר למגבלות התכנון, המטוס עלול להיות חסר שליטה לחלוטין. כיצד מיקום CG משפיע על שליטה, אפילו בתוך המעטפת המורשית?

### מרכז כובד קדמי

ככל שמרכז הכובד קדמי יותר, כך גדלה הנטייה לחלץ את המטוס מהפרעה של מערבולת או הזזת הגה. הזזת CG קדימה מגדילה את היציבות. דבר זה בדרך כלל טוב (במיוחד לטיסות מכשירים), אולם אפילו בתוך מעטפת מרכז הכובד, ל - CG קדמי יש מעט השפעות מנוגדות על הביצועים, כולל:

- הצורך בכוח נוסף של הגה גובה - ולפיכך יותר מהירות - להרמת האף להמראה. המשמעות של זה שיידרש מסלול ארוך יותר להשגת מהירות לשליטה - כוח.
- למהירות נתונה, הטיית הגה גדולה יותר לשמירת מצב עלרווד. הטיית הגה גדולה יותר מגדילה את הגרר האווירודינמי, מקטינה ביצועים.
- במרבית משטרי הטיסה, הגדלת הכוח על הזנב כלפי מטה בכדי להתנגד לנטיית האף לרדת. דבר זה גורם להגדלת הגרר, ובעקיפין, טיסה בזווית התקפה גדולה יותר למהירות נתונה, שניהם מקטינים את הביצועים אפילו יותר.
- מהירות שיוט מופחתת להספק נתון ומשקל מטוס, מאותן הסיבות.
- נדרש הספק מוגדל (וצריכת דלק) להשגת מהירות שיוט נתונה.
- הצורך בתוספת הגה גובה מעלה בהצפה לנחיתה.

יש לציין שכל הגורמים הללו מתרחשים אפילו כאשר מרכז הכובד הינו בתחום המגבלות המורשות. אם המטוס מועמס מחוץ למגבלות, בקצה הקדמי של המעטפת המותרת, המטוס עשוי להיות כה יציב, שאפילו הטיה מלאה של ההגה אינה מספיקה להתגברות על נטיית אף מטה. המטוס, למעשה, הופך ליציב מדי להטסה. העמסת מרכז כובד קדמי, הניתנת לשליטה בטיסה עם זרימת אוויר גדולה על הגה הגובה, עשויה להפוך לאף כבד בלתי ניתן לשליטה, ככל שהמטוס מאיט ויעילות ההגה אובדת. מטוס עם אף כבד עשוי לנוע מהר יותר לקראת תחילת המסלול, או לנחות בכבדות על גלגל האף, כאשר יעילות השליטה אובדת בהצפה.

מהו אף כבד אופייני? מספר תכנוני מטוסים הם באופן טבעי בעלי אף כבד. מטוסים בעלי מדחס גידוש הינם בפרט בעלי אף כבד (עקב המשקל של ציוד הדיחוס לפני קיר האש), במיוחד אם אין נוסעים או מטען בתא האחורי של המטוס. מספר שלדות מטוס קצרות גם הן בעלות אף כבד ללא נוסעים במושב אחורי, או מטען.

### מרכז כובד אחורי

ככל ש - CG זו אחורנית, יש פחות מרחק בין ה - CG ומרכז העילוי, והמטוס הופך לפחות יציב. בצורה הקיצונית, מטוסי קרב מודרניים מתוכננים להיות בלתי יציבים לחלוטין לצורך תמרון מירבי, תלויים בשליטה מונחית מחשב

"ליצירת" יציבות לשליטה במטוס. למרות שיציבות מופחתת מגדילה יכולת תמרון, CG אחורי גם הוא משפיע על גורמים אלו:

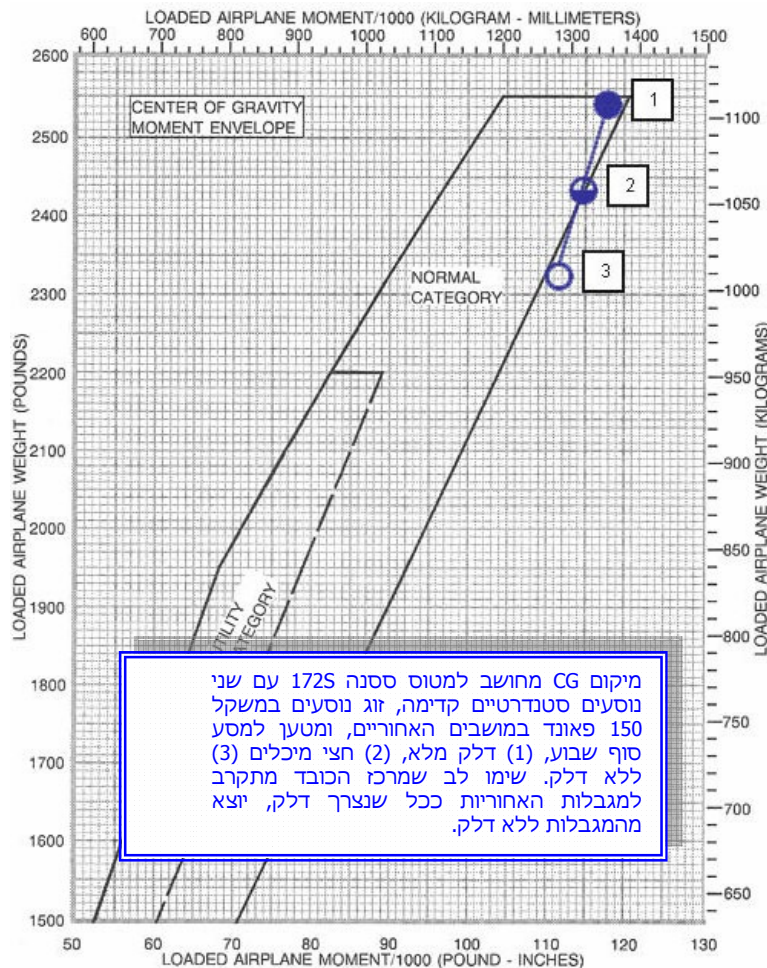
- נטייה להרמת אף מוקדמת בהמראה, ועלרוד מוגזם כתגובה לתשומת טייס "נורמאלית" בהמראה. דבר זה גורם למטוס לאפשרות סבירה להזדקר, ומגדיל את הגרר להקטנת ביצועי טיפוס התחלתיים.
- אם מופרע על ידי מערבולת, המטוס לא יחזור לטיסה יציבה, אלא עשוי "לצוד את העילרוד", ודורש תשומות אקטיביות יותר של היגוי על ידי הטיס. מטוס בעל מרכז כובד אחורי הינו מטוס בעל עומס עבודה גבוה יותר בהטסה מדויקת – פעולת איזון בלתי יציב.
- בהאטה לנחיתה, יתכן ויידרש הגה גובה להורדת אף למניעת נטייה לאף מעלה. אם מופעלות תשומות "נורמאליות" של שליטה, סביר שהמטוס יגדיל את זווית ההתקפה וינחת קצר, או יזדקר.
- מטוס בעל זנב כבד, מכל מקום, יצא מקיזוז בזווית התקפה נמוכה בשיוט, וכך בהספק נתון, הוא יטוס מעט מהר יותר מאשר אותו המטוס בעל מרכז כובד קדמי.

אם CG אחורי ממעטפת העומס המאושרת, המטוס עלול להיות כה בלתי יציב, שלא ניתן יהיה להטיסו ב בטחה. ההשפעה עשויה להיות מובהקת יותר במהירויות נמוכות, כגון נחיתה, כאשר זרימת אוויר מופחתת גורמת להגה הגובה להיות פחות יעיל.

מהו זנב כבד אופייני? מטוסים בעלי אזורי מטען אחורי גדולים ומטוסים בעלי גוף ארוך, עם מושבים בקרבת החלק האחורי של התא, מועמסים בדרך כלל בקרבת (או מעבר) למגבלת מרכז הכובד האחורי שלהם.

### צריכת דלק ומרכז כובד

כולנו למדנו לחשב מיקום מרכז כובד כחלק מהדרכת הטייס שלנו. אולם כמה מאיתנו למדו לחשב משקל ואיזון לא רק למצב המראה, אלא גם למצב נחיתה צפוי? ניתן להעמיס הרבה מטוסים בתחום המגבלות להמראה, ולצאת ממעטפת CG לאחר שכמות מסוימת של דלק נצרכה מהמיכלים. הפתעתי שוכרי ססנה 172, שטסתי איתם כמדריך בקריירת ההדרכה המוקדמת שלי, על ידי זה שהראיתי להם שהמטוס היה בטוח בתוך המגבלות עם דלק ושני אנשים במושבים האחוריים, אולם לאחר צריכה של בערך חצי מהדלק בטיסה, מרכז הכובד זו אל מאחורי המגבלה האחורית בצורה מסוכנת.



מיקום CG מחושב למטוס ססנה 172S עם שני נוסעים סטנדרטיים קדימה, זוג נוסעים במשקל 150 פאונד במושבים האחוריים, ומטען למסע סוף שבוע, (1) דלק מלא, (2) חצי מיכלים (3) ללא דלק. שימו לב שמרכז הכובד מתקרב למגבלות האחוריות ככל שנצרך דלק, יוצא מהמגבלות ללא דלק.

מיוון שמרבית המטוסים נושאים את הדלק שלהם בחלק הקדמי של הכנף, נפוץ מאד שמרכז הכובד זו אחורה עם צריכת הדלק. תכנון מטוס ייחודי ומיכלי דלק אופציונאליים עשויים לסבך חוק זה.

לפניכם תרגיל: תוך שימוש בנתוני משקל ואיזון למטוס שאתם מטיסים בדרך כלל, עם עומס נוסעים ומטען נתונים, חשבו את מרכז הכובד עם דלק מלא, חצי מהדלק, ואפס דלק. ראו לאן זו מרכז הכובד עם צריכת הדלק, והאם יזוז אל מעבר למגבלה האחורית כאשר יועמס, ועדיין יש דלק במיכלים. אם כן, ביססתם עכשיו טווח מטוס קצר יותר (כולל

האחורית כאשר יועמס, ועדיין יש דלק במיכלים. אם כן, ביססתם עכשיו טווח מטוס קצר יותר (כולל

רזרבה) לפני שאתם צריכים לנחות לתדלוק, בכדי לשמור יכולת שליטה.

### **דעו מגבלותיכם**

אם אתם בתוך המעטפת, אולם קרובים למגבלת CG קדמי, למטוס יידרש מסלול ארוך יותר להמראה, ויד חזקה בכדי להיכנס למצב טיפוס. אולם המטוס יהיה יציב יותר במערבולת, דבר שייתן לנוסעים שלכם (ולכם) טיסה חלקה יותר. נצלו את היתרון של מרכז כובד קדמי ותכננו עצירות תדלוק ושהמטען שלכם יהיה קרוב למגבלה הקדמית, כאשר אתם טסים במזג אוויר קשה ובקרבת הרים. אם האוויר חלק, אתם יכולים לתכנן מרכז כובד אחורי, אולם בתוך המגבלה, למהירות שיוט גדולה יותר. בכל מצב, קחו בחשבון השפעות צריכת דלק על מרכז כובד וודאו שעדיין תהיו בתוך המעטפת בצורה בטוחה בסיום המסע, כולל טיסה לשדה אלטרנטיבי, אם ידרש.

ישנם טייסים האוהבים מטוסים "יציבים", במיוחד לטיסת מכשירים. אחרים אוהבים מטוסים "ניתנים לתמרון". הטיפוסים "היציבים" מחשיבים מטוסים בעלי יותר יכולת תמרון כ"מוזרים", בעוד ציבור ה"ניתנים לתמרון" אומרים שהמטוסים היציבים "טסים כמו משאית". מה שלא תהיה העדפתכם, הדרך בה המטוס מתפקד במרביתה הינה פונקציה של מרכז הכובד שלו.