



VFS- CVFR



האטמוספירה ומדידת גובה

נכתב ונערך ע"י: משה אפשטיין

עדכון: דצמבר 2011



תקציר

מעטה האוויר שעוטף את כדור הארץ הוא שמאפשר לנו לחיות וגם לטוס. האוויר הינו תערובת של גזים ויש לו משקל. המשקל הוא תוצאה של השפעת כוח הכובד על חלקיקי האוויר. שכבת האוויר של האטמוספירה יוצרת לחץ בכל נקודה התלוי בכמות האוויר שמעל הנקודה. ככל שעולים בגובה יש פחות אוויר מעלינו ולכן הלחץ בגובה, נמוך מאשר על פני כדור הארץ. כאשר הטמפרטורה עולה האוויר מתפשט ולכן משקל של אטמוספירה ביום חם קטן מזו של אטמוספירה ביום קר. מכיוון שלחץ האטמוספירה משתנה עקב תנאים שונים הגדירו "אטמוספירה סטנדרטית" שמשמשת כייחוס כדי, לדוגמא, למדוד ביצועים של כלי טייס או לאפשר הפרדת גבהים בין מטוסים. האטמוספירה הסטנדרטית מניחה טמפרטורה של 15 מעלות צלסיוס בגובה פני הים, אוויר יבש ולחץ השווה ללחצו של עמוד כספית בגובה של 29.92 אינצ'ים של כספית (מסומן כ "Hg") או ביחידות הנקראות מיליברים 1,013.2 mb.

כדי לאפשר לכל המטוסים הפרדת גבהים לשמירת בטיחות הטיסה, כל מכשירי המטוס מכוילים בהנחה שהאטמוספירה הסטנדרטית. ומראים גובה שנקרא גובה לחץ בהתייחס למשטח מוסכם. למעשה מד הגובה הברומטרי במטוס אינו מודד גובה אלא מודד לחץ בלבד ומציג אותו במונחי גובה. ישנם מספר סוגי כיוול של מד הגובה הברומטרי שחשובים לטייס, הם מסומנים בקוד בן שלוש אותיות המתחיל באות Q ונקראים גם קודי Q

QFE – כיוול מד הגובה כך שהוא יראה נכון את הגובה מעל השדה, כך שכאשר ננחת יראה מד הגובה בקירוב 0.

QNH – הכיוול במד הגובה כדי שכשאנחת יראה מד הגובה את גובהו של השדה מעל פני הים כפי שמופיע בדפית. אם הלחץ ניתן ביחידות של אינץ' כספית נהוג לציין את סוג היחידות, לדוגמא: QNH 29.35 INS

QNE - סוג כיוול זה משמש בטיסה בנתיבים גבוהים, הכיוול מתבצע ע"פ הלחץ של אטמוספירה סטנדרטית בגובה פני הים (1,013.25 מיליבר או 29.92 אינץ' כספית).

גובה צפיפות: הגובה שבו הצפיפות המוגדרת באטמוספירה הסטנדרטית זהה לזו שבו אנו בודקים את הביצועים.

כאשר הטמפרטורה גבוהה צפיפות האוויר קטנה וזה כאילו שאנו טסים בגובה רב יותר. אדי מים קלים מאשר האוויר ולכן כאשר האוויר רווי יותר אדי מים הצפיפות שלו קטנה יותר וזה כאילו שטסנו בגובה רב יותר.

לכן, כאשר האוויר חם ולח יותר תהיה פגיעה גדולה יותר בביצועים מאשר באוויר קר ויבש

*** רצוי לקרוא את ההסבר המורחב ולפתור את התרגיל בסופו ***



האטמוספירה ומדידת גובה

מעטה האוויר שעוטף את כדור הארץ הוא שמאפשר לנו לחיות וגם לטוס (נכון, גם בחלל שבו אין כלל אוויר ניתן לטוס אבל העקרונות שם שונים).
 האוויר הינו **תערובת של גזים** שעיקרם חנקן (78%) חמצן (21%) וגזים אחרים. נכון שהאוויר הוא קל אבל גם לו יש משקל. המשקל הוא תוצאה של השפעת כח הכובד על חלקיקי האוויר.
 חלק מהגזים כבדים מאחרים (חמצן למשל) ולכן הם שוקעים ונמצאים בעיקר קרוב לפני כדור הארץ. לכן, **כאשר עולים בגובה פוחתת כמות החמצן**.
 האוויר מתנהג כמו נוזל והוא יכול בקלות לזרום ולשנות צורה ולמלא את נפח הכלי שבו הוא נמצא. האוויר ניתן לדחיסה, כאשר אנו מנפחים בלון אנחנו דוחסים אוויר בנשיפה והאוויר הזה לוחץ מפנים על דפנות הבלון. הלחץ הוא שווה בכל נקודה בבלון. מה שמתנגד לדחיסה שלנו הוא חוזק הגומי של הבלון ולחץ האוויר שבחוץ.



שכבת האוויר של האטמוספירה יוצרת לחץ בכל נקודה התלוי בכמות האוויר שמעל הנקודה. הלחץ הוא הכוח שמפעילה שכבת האוויר בגלל משקלה על יחידת שטח. ככל שעולים בגובה יש פחות אוויר מעלינו ולכן הלחץ בגובה, נמוך מאשר על פני כדור הארץ.

כאשר הטמפרטורה עולה האוויר מתפשט ולכן משקל של אטמוספירה ביום חם קטן מזו של אטמוספירה ביום קר. מכיוון שלחץ האטמוספירה אינו קבוע ומשתנה עקב תנאים שונים הגדירו "אטמוספירה סטנדרטית" (ISA - International Standard Atmosphere) שמשמשת כייחוס כדי, לדוגמא, למדוד ביצועים של כלי טייס או לאפשר הפרדת גבהים בין מטוסים.

האטמוספירה הסטנדרטית מניחה טמפרטורה של 15 מעלות צלסיוס בגובה פני הים, אוויר יבש ולחץ השווה ללחצו של עמוד כספית בגובה של 29.92 אינצטשים של כספית (מסומן כ "Hg") או ביחידות הנקראות מיליברים 1,013.2 mb.

האטמוספירה הסטנדרטית מאופיינת בירידה בלחץ של כ 1 אינצטש ובירידה של כ 2 מעלות צלסיוס בכל עלייה של 1,000 רגל בגובה. הטמפרטורה והלחץ ממשיכים לרדת עד שבגובה של כ 36,000 רגל הטמפרטורה מגיע ל -55°C ונשארת קבועה עד לכ 80 אלף רגל. כאשר התנאים שונים מהמוגדר קוראים לזה אטמוספירה לא סטנדרטית.

טמפרטורה (C ° צלסיוס)	לחץ ("Hg)	לחץ (mb)	גובה (רגל)
15.0	29.92	1,013.2	0
13.0	28.86	977.3	1,000
11.0	27.82	942.1	2,000
9.1	26.82	908.2	3,000
7.1	25.84	875	4,000
5.1	24.89	842.9	5,000
3.1	23.98	812	6,000
1.1	23.09	781.9	7,000
-0.9	22.22	752.4	8,000
-2.8	21.38	724	9,000
-4.8	20.57	696.6	10,000
-6.8	19.79	670.2	11,000
-8.8	19.02	644.1	12,000
-10.8	18.29	619.4	13,000
-12.7	17.57	595	14,000
-14.7	16.88	571.6	15,000
-16.7	16.21	548.9	16,000
-18.7	15.56	526.9	17,000
-20.7	14.94	505.9	18,000
-22.6	14.33	485.3	19,000
24.6	13.74	465.3	20,000



גובה לחץ

כדי לאפשר לכל המטוסים הפרדת גבהים לשמירת בטיחות הטיסה, כל מכשירי המטוס מכוילים בהנחה שהאטמוספירה הסטנדרטית. ומראים גובה שנקרא **גובה לחץ** בהתייחס למשטח מוסכם. למעשה **מד הגובה הברומטרי במטוס אינו מודד גובה** אלא **מודד לחץ בלבד ומציג אותו במונחי גובה**.

ישנם מספר סוגי כיוול של מד הגובה הברומטרי שחשובים לטייס, הם מסומנים בקוד בן שלוש אותיות המתחיל באות Q ונקראים גם **קודי Q** (ראו הרחבה לידע כללי במסגרת בהמשך).

QFE – כשאלה משמעותו: "מה אני צריך לכייל במד הגובה שלי כך שהוא יראה נכון את הגובה מעל השדה, כך שכשאנחת יראה מד הגובה בקירוב 0"? כאן המשטח המוסכם הוא הלחץ שנמצא בשדה. בד"כ שואלים את זה את הפקח באותו שדה. והתשובה היא ערך לחץ שנכון עבור אותו שדה. רוצים לזכור בקלות? זכרו ש F פירושו Field.

QNH – "מה אני צריך לכייל במד הגובה שלי כדי שכשאנחת יראה מד הגובה את גובהו של השדה מעל פני הים?" ותשובה QNH 1,013.7. משמעותה "אם תכייל 1,013.7 מיליבר במד הגובה כשתנחת יראה מד הגובה את גובהו של השדה כמו שהוא מופיע במפה או בדפית". אם הלחץ ניתן ביחידות של אינץ' כספית נהוג לציין את סוג היחידות, לדוגמא: QNH 29.35 INS.

QNH איזורי - למעשה נהוג להשתמש כיום בכיוול המבטא את הלחץ הממוצע בפני הים (AMSL) (above mean sea level) שמוסכם על כל מי שטסים באותו אזור ולחץ זה כולל גם מקדם ביטחון מסוים. כך שכאשר ננחת יתכן שמד הגובה יראה גובה קצת גבוה מגובהו של השדה כפי שהוא מופיע במפה.

QNE - סוג כיוול זה משמש בטיסה בנתיבים גבוהים כך שבמקום לעדכן בכל מקום את הלחץ המקומי, מכיילים כל המטוסים את מדי הגובה ע"פ הלחץ של אטמוספירה סטנדרטית בגובה פני הים (1,013.25 מיליבר או 29.92 אינץ' כספית) וטסים ע"פ כללי הפרדת גבהים.

גובה צפיפות

מכיוון שברוב המקרים האטמוספירה אינה סטנדרטית, הגובה הברומטרי אינו משקף את הגובה הנכון מבחינת צפיפות האוויר. היות וביצועי מטוס כפי שהם מבוטאים בגרפים שמספקים היצרנים הינם במונחי אטמוספירה סטנדרטית, יש צורך לעיתים לדעת באיזה גובה ברומטרי תהיה הצפיפות זהה לזו שהיינו אמורים לקבל ע"פ האטמוספירה הסטנדרטית. או אם מדדנו ביצועים בגובה ברומטרי מסוים ואנו רוצים להשוות אותם למה שכתוב בטבלאות המטוס אנו צריכים להמיר את הגובה הברומטרי לגובה הצפיפות. ההגדרה הרשמית של גובה צפיפות היא: **הגובה שבו הצפיפות המוגדרת באטמוספירה הסטנדרטית זהה לזו שבו אנו בודקים את הביצועים.**

הרעיון בחישוב גובה צפיפות הוא קודם למצוא את צפיפות האוויר ואח"כ למצוא בטבלת האטמוספירה הסטנדרטית את הגובה שבו הצפיפות זהה.

האמת שאם אנחנו לא טייסי או מהנדסי ניסוי, החישוב לא בדיוק מעניין אותנו. אולם חשוב שנבין את ההשפעות של טמפרטורה ולחות על הצפיפות כי במידה וישנם שינויים משמעותיים הדבר עלול להתבטא בשינוי בביצועים. **כאשר הטמפרטורה גבוהה צפיפות האוויר קטנה** וזה כאילו שאנו טסים בגובה רב יותר.

אדי מים קלים מאשר האוויר ולכן כאשר האוויר רווי יותר אדי מים הצפיפות שלו קטנה יותר וזה כאילו שטסנו בגובה רב יותר.



לכן, כאשר האוויר חם ולח יותר תהיה פגיעה גדולה יותר בביצועים מאשר באוויר קר ויבש (כמו שקורה לנו בריצה).

במטוסים שבהם מותקנת מערכת ניווט GPS, המציגה את הגובה מעל פני הים נוכל לראות כי לעיתים קיימים הבדלים בין הגובה שמציגה מערכת ה-GPS לבין הגובה שמציג מד הגובה הברומטרי. מה שמעיד על כך שמד הגובה אינו מציג גובה אמיתי מעל פני הים אלא מדידת לחץ.

קודי Q הם קודים בני שלוש אותיות, הוגדרו בתחילת המאה ה-20 ע"י הממשלה הבריטית במטרה לקצר הודעות שהיו מועברות אז באמצעות שידורי רדיו ע"י שידור בקוד מורס, ולמרות שבהמשך עברו שידורי הרדיו להשתמש בדיבור, עדיין נעשה שימוש בקודים בכדי לקצר את התשדורות ולמנוע אי הבנות. הקודים אומצו ע"י הקהילה הבינלאומית ואפילו בקרב חובבי התקשורת האלחוטית. דבר דומה קורה היום גם בהעברת מסרים באמצעות מיילים כגון שימוש ב:) או (.

במשך השנים נוצרו מאות קודי Q וחלקם עדיין בשימוש ע"י ארגונים שונים (צבא, כוחות עזרה ראשונה ועוד). הקודים משמשים בעולם התעופה הם בתחום שבין QNZ-QAA ואחרים משמשים את התחום הימי ולשימוש כללי. כילד אני עדיין זוכר את הקוד שמציין את המשפט "אני משדר מ-תל-אביב" שהיה "QTH TLV"... הרבה יותר קצר ולא ניתן לבלבול.

המשמעות של קוד Q משתנה כתלות האם זו שאלה או תשובה. QTH כשאלה משמעו היה "מהיכן אתה משדר?" ואילו התשובה QTH "XXXX" משמעה "אני משדר ממקום XXX". אפילו להצעת נישואין היה קוד Q. QWM "האם תינשאי לי?" והתשובה QWM משמעותה "כן אנשא לך". מתוך עולם זה צמחו ביטויים כמו "רוג'ר" שהם בעצם האות "R" שבהא לציין תשובה חיובית או הבנה. ראו קודים נוספים ב

http://www.pilotfriend.com/training/flight_training/communication/q_code.htm

החשיבות של שימוש בקיצורים באה לידי ביטוי גם בנוהלי דיבר ברדיו על מנת לענות בצורה קצרה ותכליתית ולמנוע בלבול, ולכן במקום לענות ב Yes כדי לציין חיוב משתמשים ב Affirmative ובמקום לענות רק No עונים ב"כ Negative".

ביטויים חשובים נוספים לשימוש בקשר הם לדוגמא:

Over = סיימתי לדבר עכשיו תורך. **Out** = סיימתי לדבר ואינני מצפה לתשובה. **Copy** = הבנתי את מה שאמרת.

Say again = חזור שנית על ההודעה, **Break** = לא גמרתי להעביר את ההודעה אבל אני מפסיק כדי לשמוע אם מישהו קורא לי. **Break-Break** = שימו לב כולם אני עומד להעביר הודעה חשובה (בד"כ בחירום), כפי שתראו בקורס היום המשמעות שונה ונועדה לאפשר לפקח הודעה למספר מטוסים בזה אחר זה ולשמוע את התגובות רק לאחר שסיים ובסדר הפוך מסדר השידור. כלומר מקבל ההודעה האחרון ישיב ראשון.

תרגיל קריאת מד גובה

לפינו שלושה מצבים של מד גובה ברומטרי, כולם מכוילים ללחץ של _____ ויחידות של _____ המכשירים מראים גובה ברומטרי/ צפיפות (מחק את המיותר) נא רשמו את הגובה הנכון מתחת כל מד גובה:

איור 3



גובה: _____

איור 2



גובה: _____

איור 1



גובה: _____



פתרונות והסבר :

למד הגובה 3 מחוגים: המחוג הקטן ביותר הוא משולש קטן (מוקף בעיגול צהוב) מראה את הגובה ביחידות של 10,000 רגל. באיור 1 הוא נמצא מעבר לספרה 1 לפני הספרה 2 ולכן הגובה גבוה יותר מ 10,000 רגל.

המחוג הבינוני מראה את הגובה ביחידות של 1,000 רגל (מסומן בעיגול אדום). באיור 1 הוא נמצא בין הספרה 3 לבין הספרה 4 ולכן הוא מראה 3,000 רגל.

המחוג הגדול מראה את הגובה ביחידות של 100 רגל (מסומל בעיגול ירוק). באיור 1 הוא נמצא בדיוק על הספרה 5 ולכן משמעו 500 רגל.

הפתרון של איור 1 : $10,000 + 3,000 + 500 = 13,500$ רגל

באופן דומה איור 2 מראה שהמחוג הקטן טרם הגיע לספרה 1 ולכן ניתן להתעלם ממנו, ולקבל 6,200 רגל.

באיור 3 נראה שקיים קושי לקרוא מה בדיוק מראה המחוג הקטן, האם הוא לפני 1 או כבר עבר אותו,



אבל הסתכלות על המחוג הבינוני מראה שהוא עוד לא השלים הקפה ונמצא בין 9 ל 0 ולכן הגובה יהיה קטן מ 10,000 רגל. ברור שאנו יותר מגובה 9,000 רגל אבל באיזה גובה בדיוק? המחוג הגדול נמצא קצת אחרי הספרה 4, כלומר יותר מ 400 רגל. בין 4 ל 5 ישנו סימון שנתה קצר שמצביע על 50 כלומר זה עדין לא 450 רגל. המחוג גם לא מגיע לחצי המרווח בין 4 ל 5 שנתה הקצרה כלומר פחות מ 425 רגל. למעשה בטיסה אין צורך לנסות ולקרוא את הדיוק הזה ממד הגובה. והידיעה שאנחנו ליד 9,400 רגל ממש מספיקה.

מה לגבי הלחץ המכוייל? האם זה 29.92 או אולי 29.94 די קשה להבחין. בחיים האמיתיים קל הרבה יותר לקרוא את הלחץ המכוייל בחלונית בצד ימין, אבל כאשר טסים בסימולטור ניתן ללחוץ על מקש הקיצור B ולהתאים את הלחץ הברומטרי לשדה שבחרנו.