

חישובי זמ"מ ותיקוני כיוון לניווט תחרותי

תמיר רון

גרסה 1.0

מאי 2003

כל הזכויות שמורות. ניתן לשכפל להעתיק ולשלוח באמצעים אלקטרוניים או אחרים מאמר זה בתנאי שהמאמר לא ישונה, ושם המחבר לא ישונה ויופיע כחלק מהמאמר. שמוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול במאמר זה אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מהמחבר.

הקדמה

מטרות

מטרת המסמך היא להעלות את מספר המתחרים ורמת הידע של המשתתפים בתחרויות ניווט ע"י הפצת הידע התאורטי הכרוך בטיסת ניווט תחרותית למספר גדול של טייסים.

המסמך מביא את המסגרת השיטתית לביצוע תיקוני "זמן מעל מטר" ותיקוני כיוון עבור ניווט תחרותי ומתמקד בכללים הפרקטיים לחישוב וביצוע התיקונים.

קהל יעד וידע מוקדם

המסמך מופנה לאוכלוסית הטיסים בעלי ידע בנוטות חשבונית ופרקטית היודעים את כללי הניווט התחרותי ע"פ חוקי ה FAI. את חוקי התחרות ניתן למצוא ב:

http://www.fai.org/general_aviation/documents/RallyFlying2003.pdf

למה תחרות ניווט ?

לרוב בעלי רישיון הטייס משימת הניווט בארץ היא בדרך כלל פשוטה. הנתיבים שחוקים ומוכרים מזג האוויר טוב והלגים קצרים. בנוסף המציאות הביטחונית מכתובה שיטת בקרה ותא שטח שבו כל סטיה מהנתיב תזוהה ע"י הבקר עוד לפני הטייס. במסגרת תחרויות ניווט אנחנו משתחררים – ולו גם רגעית – מרוב המגבלות האלה וטסים "א-לה-נטורל" בבקרה מינימלית ללא נתיבים וללא עזרי ניווט מתקדמים. טיסה כזו מחזירה למרכז את מיומנויות הניווט הקלאסיות ומוסיפה אתגר רב לטיסה.

על המחבר

בעל רישיון טייס פרטי מאז ספטמבר 2001, משתתף בתחרויות ניווט כנווט בצוות עם דובי לבנון מאז נובמבר 2001. להערות על המסמך : tamirron@barak-online.net

אזהרה

דבר במאמר זה אינו בעל קדימות מעל לחקיקה, חוק, תקנה, הוראה או תהליך המופיע בכל מסמך של משרד ממשלתי כלשהו, מנהל התעופה, יצרן מטוס, מנוע, מערכות אחרות או מפעיל מטוסים בכל מקום שהוא. השימוש במידע המופיע במסמך זה הינו על אחריותו הבלעדית של הטייס ואינו מהווה תחליף לטיסה ע"פ כללי הטיסה המעוגנים בחוק ובתקנות.

מונחים וקיצורים

נקודת הזדהות
זמן מעל מטר

נק"ז
זמ"מ

סימונים

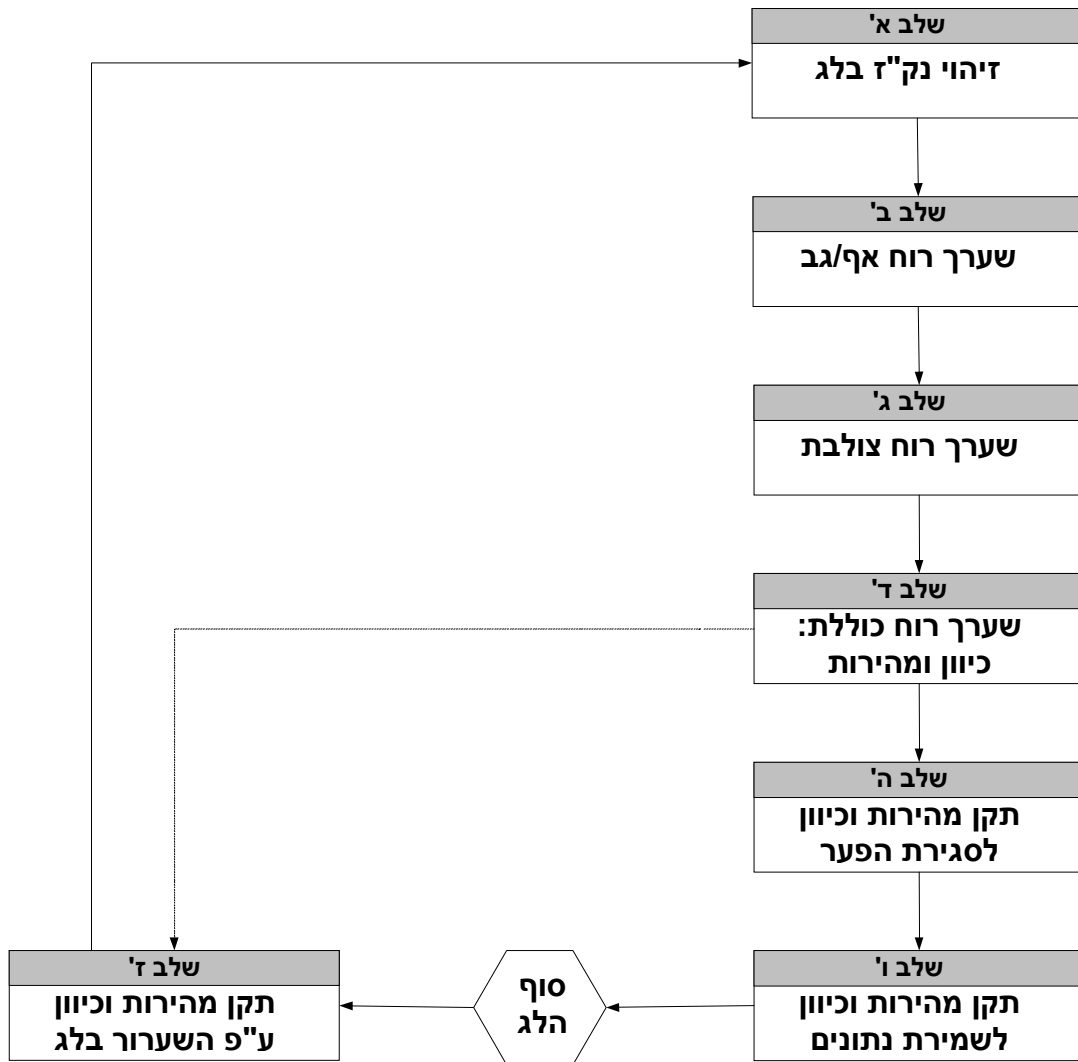
#	סימון	הסבר	יחידות	הערות
1	dT	הפרש מהזמן המתוכנן בנק"ז	שניות	הפרש חיובי = הגעה מאוחרת לנק"ז, מהירות קרקעית נמוכה מהמתוכנן, נידרשת האצה לתיקון הפרש שלילי = הגעה מוקדמת לנק"ז, מהירות קרקעית גבוהה מהמתוכנן, דורש האטה לתיקון
2	Tp	הזמן המתוכנן להגעה לנק"ז	דקות	קיצור של Tplan
3	Ta	זמן ההגעה בפועל לנק"ז	דקות	קיצור של Tactual, ברור כי $Ta = Tp + dT$
4	Sp	המהירות המתוכננת בלג	קשרים	בדרי"כ 75 קשר, קיצור של Splan
5	Sgs	המהירות הקרקעית בלג	קשרים	קיצור של S ground Speed
6	Sias	המהירות המסומנת הנידרשת	קשרים	קיצור של S indicated air speed
7	Scw	מהירות הרוח הצולבת	קשרים	קיצור של "cross wind" S
8	dSw	רכיב הרוח בכיוון הטיסה אף/גב	קשרים	dSw חיובי = רוח גב dSw שלילי = רוח אף ברור כי $Sgs = Sp + dSw$ קיצור של delta Speed wind
9	dScr	מהירות התיקון לסגירת הפער	קשרים	קיצור של delta Speed correction
10	dA	זווית התיקון לרוח	מעלות	קיצור של delta Angle
11	dDr	זווית הסחיפה בלג	מעלות	קיצור של delta Drift

תודות

לגיא הרצוג המדריך הראשי באויה על החסבר הראשוני לשיטות המובאות כאן.
לאגודת התעופה הכללית בישראל על ארגון תחרויות ניווט בארץ הקודש
לניצן אלישיב על העזרה בהפקה הסופית

השיטה המוצעת - מבוא

מבט כללי



המטרה של התהליך היא לשערך את מהירות וכיוון הרוח בלג. התהליך המתואר מניח שבמסגרת הלג הרוח היא קבועה.

בכל לג נבחרת נקודת מבחן בה משוערכת כיוון הרוח ועוצמתה. לאחר השיערוך, מתבצעים תיקונים כדי להגיע לסוף הלג בזמן הרצוי. בלג הבא משמשים הנתונים המשוערכים לתיקון נתוני הטיסה כדי לעמוד במבחן זמ"מ (זמן מעל מטרה) וכדי למנוע סחיפה מהנתיב.

תנאים מקדימים

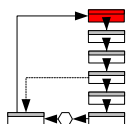
ביצוע השיטה מותנה במספר תנאים:

1. נבחרה מהירות קרקעית לניווט, הזמ"מ חושב ע"פ המהירות שניבחרה.
2. שורטטה מפת הניווט שבה -
 - הלגים משורטטים על המפה
 - לכל לג מסומן כיוון מגנטי
 - בקצה כל לג – הזמ"מ הרצוי באופן מצטבר
 - שנתות במרווח של דקה משורטטות על הלג
 - מול כל שנתה מסומן הזמן המתוכנן שלה
3. בזמן הטיסה לנווט יש שעון עצר מתואם עם זמן ההמראה
4. הטייס מקפיד לשמור של מהירות אויר מסומנת ידועה וקבועה, ונתוני כיוון ידועים

איזה מהירות קרקעית לבחור?

בתחרות ניווט הפרקטיקה היא שמטוסי general aviation בוחרים מהירות של 75 קשר. מהירות כזו מאפשרת לתקן בקלות רוח אף/גב של 20 קשר. בנוסף, בדרך כלל אין אפשרות שמטוס אחד יטוס 85 ואחר 65 וזאת כדי לשמור על מרווח קבוע בין המטוסים. ולכן בפועל כל מטוסי התעופה הכללית טסים ב 75 קשר.

→ **המסמך מתייחס מכאן ואילך למהירות קרקעית מתוכננת של 75 קשרים, מטוסים או אז"מים הבוחרים מהירות אחרת יפנו לנוסחאות המפורטות ויגזרו את הכללים המתאימים להם.**



שלב א – בחירת נקודת הזדהות בלג

מהי נקודת הזדהות (נק"ז) טובה?

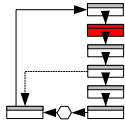
נקודת הזדהות טובה היא נקודה שקל לזהות בשטח גם במקרה של טיסה שאינה מדויקת על הנתיב. הנק"ז צריך לענות על הקריטריונים הבאים:

א. **הנק"ז צריך להבחר כך שהתיקונים הניגוזרים ממנו יוכלו להספיק להתבצע בהמשך הלג**
 בחירת נק"ז בשליש הראשון של הלג אבל לא מוקדם מ 3 דקות בתוך הלג היא פרקטיקה טובה. כך ניתן לטעויות קטנות להצטבר לכדי כך שהם יהיו ניתנות למדידה וגם יהיה עדין מספיק זמן בתוך הלג לביצוע תיקון כנידרש.

ב. **הנק"ז צריך ליהיות ניתן לזיהוי גם אם הנתיב בפועל סטה מהתיכנון**
 יש להתחשב בכך שהטיסה בגובה נמוך גורמת לכך שאלמנטים מאונכים לכיוון הטיסה יכולים להיות מוסתרים ממש עד רגע המעבר מעליהם.

ג. **הנק"ז צריך להיות חד משמעי לצורכי מדידת זמן**
 כביש, פסי רכבת, כיכר בולטת הם דוגמאות לאלמנטים קרקעיים שחציתם היא חד משמעית ולכן מדידות הזמן מעליהם יכולה להיות מדויקת ברזולוציה של שניות. לעומת זאת "מרכז ישוב" אינו נק"ז חד משמעי לצורכי מדידה.
 לאחר שבשלב התכנון נבחרה נקודת הזדהות טובה, כדאי להשתמש בה באופן מדויק. מדידת זמנים בחצית נק"ז צריכה להתבצע בדיוק עם החליפה מעל לנקודה.

לעיתים קרובות לא ניתן למלא את הדרישות ב' וג' באותה נקודה, אפשר על כן לבחור שתי נקודות שימלאו במצטבר את התנאים לעיל.



שלב ב – שיערוך רוח גב/אף

איך להגיע לנקודות המבחן (check points) בזמ"מ מדויק ?

“זמן מעל מטרה” בתחרות ניווט מהו ?

אחד המבחנים החשובים בניווט תחרותי הוא הגעה למטרות בזמ"מ מדויק. על כל איחור או הקדמה בשניה אחת נקנים בשתי נקודות. לדוגמה בניווט בן 10 נקודות ציון בו "נפספס" רק 30 שניות לכל נקודה, ניקנס ב-600 נקודות.

המשימה בתחרות מורכבת ממספר נקודות מבחן – Check Points או CP, שלכל אחת מהם מחושב זמן הגעה בדיוק של שניות מזמן ההמראה. לדוגמה CP1 0:14:37 – משמעותו שיש להגיע לנקודת הניווט הראשונה 14 דקות ו 37 שניות מזמן ההמראה.

חישוב הזמן הרצוי מעל המטרה מתבסס על שני נתונים – המרחקים והמהירות הקרקעית. כל מתחרה מוסר למארגני התחרות את המהירות הקרקעית עליה הוא מתחייב (כאמור 75 קשר בדרי"כ) ולפי מהירות זו מחושבים לו זמני ההגעה ל CP השונים.

כדי להגיע למטרות בזמן מדויק עלינו לטוס קרוב ככל הניתן למהירות הקרקעית בה בחרנו. הגורם המשפיע ביותר על הזמ"מ הוא רכיב הרוח שבכיוון הטיסה – אף או גב.

שיטות אפשריות

שיטת "ניווט מגע"

השיטה הפופולרית להגעה בזמ"מ מדויק היא שיטת המגע הקבוע עם השטח. שיטה זו היא הקצנה של "שעון-מפה-שטח" אותה שינוי ברשיון הפרטי. לפי שיטה זו מבצעים הזדהות תמידית מול השטח, בכל רגע נתון מזהים את הפער שבין שנתות הדקות המסומנות על הנתב במפה לזמן בפועל מעל הנקודה. ע"פ הפער נותן הנווט הוראות לטייס להאיט או להאיץ. השיטה אינה כמותית, ובדרך כלל תגרום להוראות בעלות אופי קיצוני עם זיהוי המטרה - כדי לסגור פערים שנוצרו תוך כדי הלך. כיוון שקשה לנו להעריך במדויק מרחק – בדך כלל גם ההוראות הקיצוניות לא יביאו את המטוס למטרה המבוקשת בזמ"מ הרצוי.

למרות האמור לעיל, כאשר הרוח קלה ניווט המגע יצליח אם הטיס ישמור על נתונים במידה סבירה. תחושת הביטחון של הנווט תהיה גדולה כי הוא כל הזמן מזוהה. לעומת זאת כמות הקשב הפנוי של הנווט היא נמוכה ביותר לשאר המשימות בתחרות.

השיטה החישובית

השיטה האלטרנטיבית לניווט המגע – היא זיהוי עוצמת הרוח וכיוונה – אף או גב תוך כדי טיסה וביצוע תיקוני מהירות בהתאם. במידה וזיהוי הרוח יהיה מדויק מספיק, הטיסה למטרה תתבצע במהירות קבועה ללא תיקונים חריפים ותאפשר לטייס ולנווט לפנות קשב לשאר המשימות בתחרות.

שיערוך רכיב הרוח בכיוון הטיסה

בנק"ז ימדד הפרש הזמן dT ע"י חיסור הזמן הרץ בשעון העצר מהזמן המתוכנן Tp. מהירות הרוח עבור מהירות מתוכננת 75 קשר תחושב לפי :

$$\text{Formula 1: } dSw = 1.25 * (-dT / Ta)$$

שיערוך עוצמת הרוח ניתן ע"י הפיגור/מהיור בשניות, מחולק בזמן הטיסה בפועל (Ta) מתחילת הלך כפול 1.25.

לרוב יהיה יותר פשוט לחלק את הפיגור מיהור בשניות בזמן הטיסה המתוכנן (Tp) מתחילת הלך, כיוון שנתון זה מופיע על המפה. במקרה זה ניתן לקרוב את התוצאה ע"י הנוסחה :

$$\text{Formula 2: } dSw \approx 1.25 * (-dT / Tp)$$

➔ הפיגור/ מיהור מוכפל ב 1.25 הוא השיערוך לרכיב רוח אף/גב במהירות 75 קשר ➔

נוסחאת הקירוב זו נכונה כאשר $dT \ll Tp$. היא נוחה יותר לשימוש בתנאים של לחץ זמן, ונותנת קירוב מספק. ראה [נספח א'](#) לפירוט החישוב המלא.

דוגמא :

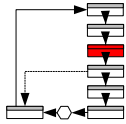
לנק"ז של 4 דקות (Tp=) הגענו ב 4:20 דקות שהם +20 שניות פיגור (dT=) הרוח היתה בפועל 5.77 קשר של רוח אף, או בקירוב 6.25. מהירותנו הקרקעית היתה 69.23 או בקירוב 68.75 קשרים. כדי לטוס במהירות קרקעית 75 יש לטוס במהירות מסומנת של 81.25 קשרים.

הסבר לנוסחה :

המטוס טס 1.25 מיל בדקה, החלק היחסי $(-dT/Ta)$ הוא המהירות שגרמה לפיגור או המיהור בלג.

שיערוך מהיר :

אם נזניח את הפקטור 1.25, ונקבל שהפיגור/מיהור לדקה היא בערך מהירות הרוח בכיוון הטיסה.



שלב ג' - שיערוך רכיב הרוח הצולבת

כמה מעלות צריך לתקן כדי לטוס בנתיב הרצוי?

כדי לקבל תמונה שלמה של הרוח יש להעריך גם את הרכיב הצולב שלה ולא רק את הרכיב שבכיוון הטיסה. רק זיהוי בדיוק סביר של שני מרכיבי הרוח יתן תמונה שלמה על הרוח האמיתית.

לכל השיטות המפורטות מטה, נניח שהמצפן הגירוסקופי מכויל למצפן הרטוב.

שיטות אפשריות

שיטת ההתיישרות מול "המסלול"

עם הפניה ללג הבא מישרים את אף המטוס לכיוון המגנטי הרצוי ובחרים נקודה רחוקה לטוס אליה. מציירים קו דימויני בין המטוס לאותה נקודה מרוחקת ומנסים לטוס עליו. ברוח צד הטייס יתקן באופן אינטואיטיבי לטיסה עם האף לתוך הרוח, בדומה לטיסה מול מסלול עם רוח צד. כאשר המטוס מיושר מול המסלול הדימויני, ימדד הפרש המעלות בין הכיוון המגנטי המתוכנן לכיוון המגנטי בו אנו טסים בפועל.

אם ההפרש הוא dA מדוד במעלות, מהירותינו הקרקעית היא Sgs קשרים, ומהירות הרוח הצולבת, אותה אנו מחפשים היא Scw קשרים, נקבל לפי חוק 1: 60 (ראה [ניספח ג'](#) להסבר חוק 1: 60)

$$\begin{aligned} Scw / Sgs &\approx dA / 60 \\ Scw &\approx (Sgs / 60) * dA \end{aligned}$$

נציב מהירות קרקעית של 75 קשרים:

$$\text{Formula 3: } Scw \approx 1.25 * dA$$

לדוגמא:

תיקון של 5 מעלות סטיה לימין – הרוח באה משמאל ועוצמתה 6.25 קשרים. גם נוסחה זו היא מקורבת. כיוון שמהירותנו הקרקעית איננה בהכרח 75 קשרים עקב רכיב הרוח שבכיוון הטיסה.

ע"י התיישרות מול "המסלול" הוירטואלי, השגנו שתי מטרות – שיערוך לעוצמת רכיב הצד, וטיסה ללא סחיפה בנתיב הרצוי.

חסרונות השיטה הם: הדיוק היחסית נמוך שלה – בחירת הכיוון הראשוני יכולה ליהיות שגויה בגלל הרוח שמנסים לשערך, חוסר רגישות לתיקונים קטנים מ 5°, קושי בשמירת נתיב קרקעי דימויני, ובהקשר של תחרות ניווט – העובדה ששיטת ניווט קריטית אינה באחריות הנווט.

שיטת הסחיפה המבוקרת

הנווט נותן לטייס כיוון מגנטי ללג הבא. הטייס מקפיד באופן דוקאי על שמירת נתוני הכיוון גם אם באופן ברור מדובר בסטיה מהנתיב הקרקעי הרצוי. בנקודת הזיהוי תמדד הסחיפה במעלות מהנתיב. שיערוך שיעור הסחיפה במעלות יכולה להתבצע ע"י קווי סחיפה, או מד הזווית, או "לפי העין". אם נסמן את הסחיפה במעלות ב dDr הרי שלפי חוק 1: 60 נקבל (למהירות 75):

$$\text{Formula 3: } Scw \approx 1.25 * dDr$$

→ הסחיפה מוכפלת ב 1.25 הוא השיערוך לרכיב רוח הצולב במהירות 75 קשר →

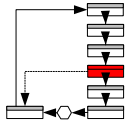
יתרונות השיטה הם: רגישותה גם לרוח קלה ובעובדה שהיא דורשת לשמור כיוון ע"פ מכשירי המטוס ולא ע"פ נקודת יחוס חיצונית. החסרון של השיטה הוא בכך שביצועה מחייב סחיפה מחוץ לנתיב, ומעבר לאפקט הפסיכולוגי השלילי ("אני מבורבר") יתכן שנפסיד תמונות בנתיב. חסרונות אלו חריפים יותר כאשר הרוח חזקה.

לדוגמא:

מדדנו 5 מעלות סטיה לימין – הרוח באה מימין ועוצמתה 6.25 קשרים. גם נוסחה זו היא מקורבת כי מהירותנו הקרקעית איננה בהכרח 75.

שיערוך מהיר:

אם נוניח את הפקטור 1.25, ונקבל שמידת הסחיפה במעלות היא מהירות רכיב הצד.



שלב ד – קביעת הרוח הכוללת

איך מחברים שתי מהירויות מאונכות זו לזו ?

בשלבים הקודמים נקבעו רכיבי הרוח הצולבת והרכיב שבכיוון הטיסה. כל שנותר הוא לקבוע את עוצמתה של הרוח וכיוונה, ואחר כך להשתמש בנתון בלגים הבאים לתיקון.

מהירות

המהירות הכוללת המדויקת היא שורש סכום ריבועי המהירויות - חישוב זה אינו פרקטי. כדי לשערך את סכום המהירויות מוצע הכלל הפשוט הבא :

- קיבלנו זוג מהירויות : מהירות רוח צולבת ומהירות רוח בכיוון הטיסה -
- אם המהירות הקטנה מהשתיים היא $1/3$ או פחות מהמהירות הגדולה הסכום ישוערך ע"י המהירות הגדולה.
- אם המהירות הקטנה היא מעל שליש מהמהירות הגדולה, הסכום הוא המהירות הגדולה $+ 1/3$ מהמהירות הקטנה
- אם המהירויות שוות הסכום הוא 1.5 מהמהירות של אחד הרכיבים

כפי שניתן לראות מהטבלה הבאה, הטעות בשיערוך היא קטנה מספיק לצורכינו :

מהירות "גדולה"	מהירות "קטנה"	סכום מדויק	שיערוך מהירות	שגיאה %
10	10	14.142	15	6%
10	9	13.454	13	-3%
10	8	12.806	13	2%
10	7	12.207	12	-2%
10	6	11.662	12	3%
10	5	11.180	12	7%
10	4	10.770	11	2%
10	3	10.440	10	-4%
10	2	10.198	10	-2%
10	1	10.050	10	0%

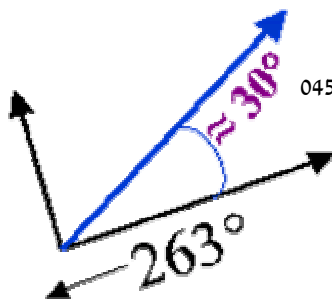
כיוון

השיטה הגראפית

אנו מסתמכים על יכולתנו לשערך זווית בדיוק של $\pm 10^\circ$. נצייר על נייר או בדימונונו על המצפן לפי פרופורציה את שתי המהירויות שמצאנו ונעריך את כיוון הרוח.

לדוגמא :

נניח שמצאנו מהירות רוח בכיוון הטיסה של 6.25 קשר אף, ומהירות רכיב צד של 4 קשרים משמאל ואנו טסים בכיוון 263° . נשרטט את השרטוט הבא :



הפרופורציות בין הרכיבים הם "לפי העין" כמו גם שיערוך הזווית בין הרכיבים. מכאן נוכל לשערך שהרוח נושבת בכיוון 053 . גם אם הינו משערכים ישירות את כיוון החץ השקול הינו מקבלים שיערוך של 045 בערך.

שיטת השלישים

ניתן לשערך את הזווית לפי היחס בין המהירות הגדולה לקטנה.

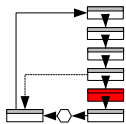
- אם המהירות הקטנה היא $2/3$ או יותר מהמהירות הגדולה, הזווית היא 45 מעלות
- אם המהירות הקטנה היא בין $1/3$ ל $2/3$ מהמהירות הגדולה הזווית היא 30 מעלות
- אם המהירות הקטנה היא בערך $1/3$ הזווית היא 15 מעלות
- אם המהירות הקטנה, קטנה מ $1/3$ מהמהירות הגדולה הזווית היא 0 מעלות

להלן טבלה שמראה את השגיאה בשיערוך לפי שיטה זו:

מהירות "גדולה"	מהירות "קטנה"	זווית מדויקת	שיערוך הכיוון	שגיאה במעלות
10	10	45	45	0
10	9	42	45	3
10	8	39	45	6
10	7	35	30	-5
10	6	31	30	-1
10	5	27	30	3
10	4	22	15	-7
10	3	17	15	-2
10	2	11	15	4
10	1	6	0	-6

תיעוד

בנקודה זו יש לנו שיערוך כולל של הרוח – כיוון ומהירות. כדאי בהחלט לרשום את הממצאים, הם יישמשו אותנו בהמשך.



שלב ה – תיקון מהירות וכיוון לסגירת הפער

איך לצמצם את פער הזמן ואת הסחיפה שנוצרה?

תיקוני מהירות

תיקון הפער

גם אם נתקן למהירות הקרקעית הנכונה, עדין נשאר פיגור או מיהור בלג שנוצר כתוצאה מהטיסה במהירות הלא מתוקנת. את הפער הזה (חיובי או שלילי) יש לסגור. אחרת נגרור את הפרש הזמן הלא מתוקן לנקודות הציון הבאות.

- במידה והמהירות הקרקעית היתה נמוכה מהמתוכנן, אז בנוסף לתיקון ע"פ נוסחה 2 יש להגביר מהירות כדי להתגבר על הפער שנוצר.
- במידה והמהירות הקרקעית היתה גבוהה מהמתוכנן, יש להאט כדי להתגבר על פער המיהור שנוצר.

בנק"ז מדדנו פער של dT בשניות (שלב ב'), נניח שאנחנו רוצים לתקן את הפער במשך Tc דקות, לפיכך השינוי במהירות הקרקעית ($dScr$) בשלב התיקון יהיה:

$$\text{Formula 4: } dScr \approx 1.25 * (dT / Tc)$$

→ כדי לסגור את פער נתקן את המהירות בפער השניות כפול 1.25 לכל דקת תיקון →

ראה [ניספח ב'](#) לחישוב המפורט.

את Tc ניבחר כרצוננו, בין דקה לשתיים או שלוש דקות ע"פ גודל התיקון הדרוש. את התיקון $dScr$ נוסיף לתיקון dSw שחושב בשלב ב'.

דוגמא:

לנק"ז של 4 דקות ($Tp=$) הגענו ב 20:4 דקות שהם +20 שניות פיגור ($dT=$) הרוח היתה בפועל 5.77 קשר של רוח אף, או בקירוב 6.25. מהירותנו הקרקעית היתה 69.23 או בקירוב 68.75 קשרים. כדי לטוס במהירות קרקעית 75 יש לטוס במהירות מסומנת של $81.25 = 6.25 + 75$ קשרים.

נניח שרוצים לתקן את הפער של +20 שניות ב 2 דקות, מהירות התיקון היא $12.5 = 1.25 * 20/2$ קשרים. ועל כן יש לטוס בקטע התיקון $93.75 = 81.25 + 12.5$ קשרים.

הסבר:

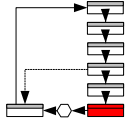
הפער הכולל שנוצר (dT) בשניות פרופורציונלי לגודל המהירות שצריך לתקן.

שיערוך מהיר:

שוב נתעלם מהפקטור 1.25 ונתקן לפי מספר השניות פיגור מיהור בלבד.

תיקוני כיוון

כתוצאה מהסחיפה ניסחפנו מחוץ לנתיב ועלינו לחזור אליו. השיטות הנילמדות בקורס נווטות לרישיון פרטי יכולות להועיל גם כאן – לדוגמא פעמיים הסחיפה למשך זמן הסחיפה אכן יחזיר אותנו לנתיב. למרות זאת, לדעתי, פרקטית עדיף לחזור לנתיב ע"י הזדהות קרקעית באופן המהיר ביותר האפשרי וזאת מהטעם של פשטות הניווט.



שלב ו – תיקון מהירות וכיוון לשמירת נתונים

עכשיו שחזרנו לנתיב, מהם התיקונים הנדרשים כדי לשמר אותו ?

תיקון מהירות לקבלת מהירות קרקעית רצויה

כדי לטוס במהירות הקרקעית הנדרשת נטוס במהירות מסומנת Sias כדלקמן :

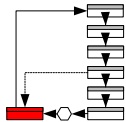
$$\text{Formula 5: } Sias = Sp - dSw$$

→ מהירות הטיסה המתוקנת תהיה המהירות המתוכננת מתוקנת לרוח אף/גב שמצאנו →

פרקטית, שלב זה יבוצע אחרי שלב סגירת הפער. כל שנותר הוא לחזור לטוס במהירות המתוקנת לרוח אף/גב כפי שזוהתה בשלב ב'.

תיקוני כיוון לשמירה על הנתיב הקרקעי

תיקון הכיוון הוא ע"י הכנסת האף לתוך כיוון הרוח הצולבת בזווית שגודלה כגודל זווית הסחיפה. כאמור את התיקון הזה יש לבצע אחרי החזרה לנתיב הקרעי.



שלב ז – תיקון מהירות וכיוון בלג הבא

את הלג הבא נטוס במהירות ובכיוון מתוקנים לרוח שמצאנו.

ע"י שיערוך השפעת הרוח שמצאנו בשלב ד' על נתוני הלג החדש נתקן גם את המהירות וגם את הכיוון בלג הבא לפי השלבים הבאים :

שלב ראשון – שיערוך הרכיב הצולב החדש, ואת רכיב האף/גב ביחס למהירות הכוללת שנימצאה בשלב ד'.

- ❖ כשזווית הרוח אלינו היא 30° הרכיב הצולב הוא 50% מהרוח
- ❖ כשזווית הרוח אלינו היא 50° הרכיב הצולב הוא 75% מהרוח
- ❖ כשזווית הרוח אלינו היא 70° הרכיב הצולב הוא 90% מהרוח
- ❖ הרכיב בכיוון הטיסה הוא "השארית" (50%, 25% ו 10%) בהתאמה.

שלב שני – שיערוך ותיקון הסחיפה

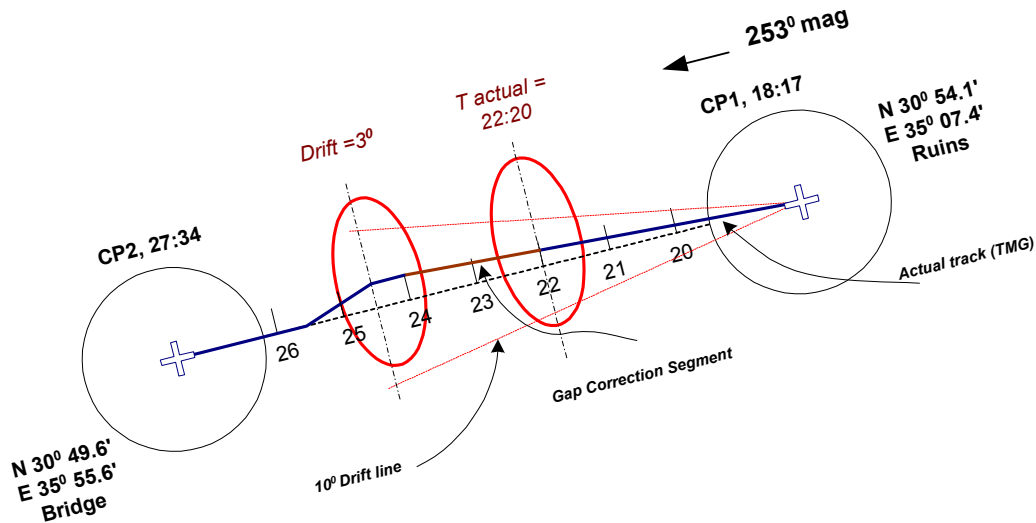
- ❖ הסחיפה שתיווצר כתוצאה מהרוח הצולבת היא מהירות הרוח הצולבת חלקי 1.25
- ❖ תיקון הסחיפה ע"י הכנסת האף לרוח בזווית זהה לשיעור הסחיפה

שלב שלישי - תיקון מהירות הטיסה כדי להתגבר על רכיב הרוח בכיוון הטיסה

- ❖ ברוח אף נוסיף את הרכיב בכיוון הטיסה למהירות המתוכננת
- ❖ ברוח גב נחסיר את הרכיב בכיוון הטיסה מהמהירות המתוכננת

השיטה לעיל מקורבת כמובן ואינה לוקחת בחשבון את המהירות הכוללת של הרוח אלא רק את הרכיבים שלה, אלא שלצרכינו זה מספיק. ניתן לשקול שימוש במחשב ניווט בפונקציה המתאימה כדי להגיע לתוצאה מהירה ומדויקת.

דוגמא מעשית



בשרטוט לעיל מובאת דוגמא מתחרות הניווט בעין-יהב קטע הטיסה בין CP1 (חורבות במעלה עקרבים) לבין CP2 (גשר צין). בלג זה נקודות ההזדהות לסחיפה ולמהירות היו שונות כפי שיוסבר בהמשך (מומלץ לראות את הלג על המפה). להלן ביצוע השלבים ע"פ ההמלצות במסמך זה:

תנאי הקדם:

- המהירות שנבחרה 75 קשר
- מפת הניווט הוכנה (בדומה בשרטוט המצורף)
- הטייס שומר נתונים – מהירות 75 כיוון 253.
- זמ"מ מעל CP1 בהפרש זמן ידוע (לצורך הדוגמא נניח בדיוק בזמן).

שלב א' – בחירת נק"ז

בגלל מגבלות השטח ניבחרו שתי נקודות הזדהות הראשונה – חצית כביש ב 22 דקות תשמש למדידת הפיגור/מיהור, השניה – מרחק מפסי רכבת בכיוון הטיסה ב 24.5 דקות למדידת הסחיפה.

שלב ב' – חישוב רוח גב או אף

הגענו לנק"ז ב 22:20 במקום ב 22:00, 20 שניות פיגור ל 4 דקות טיסה בפועל. לפי הכלל: $20/4 \times 1.25 = 6.25$ הם בערך 6 קשרים אף. מהירות האויר בה צריך לטוס בלג $81 = 75 + 6$ קשר. במקרה זה בחרנו 4 דקות שהוא קרוב יותר לזמן הטיסה בפועל ולא המתוכנן (שהוא 3.5 דקות), כמובן שנוח הרבה יותר לחלק ב 4 ולא ב 3.5, וכאמור זה גם הנוסחה המדויקת ולא המקורבת. בשלב זה הסחיפה לא היתה משמעותית ולכן הוכנס התיקון הנדרש לסגירת הפער (שלב ה')

שלב ה' – תיקון לסגירת הפער - מהירות בלבד

בחרנו לתקן ב 2 דקות לפי הכלל נקבל מהירות תיקון של $12.5 = 20/2 \times 1.25$ ונתקן פיגור ע"י טיסה במהירות תיקון של $81 + 12 = 93$ קשר במשך שתי דקות. בתום שתי הדקות נחזור למהירות 81 קשר.

שלב ג' – שיערוך רוח צולבת

בנק"ז השני שיערכנו סחיפה של 3 מעלות לימין. לפי הנוסחה $3 \times 1.25 = 4$ קשרים משמאל (בערך).

שלב ד' – שיערוך רוח כוללת

מהירות הרוח הכוללת לפי הכלל: $4 \times 1/3 + 6 = 7$ קשרים. כיוון הרוח לפי שיטת השלישים 30 מעלות משמאל לנתיב כיוון 220 משוערך.

סכ"ה הרוח: 22007

לו הינו מחשבים במדויק העוצמה היא: 7.2 וזוית של 33 מעלות ביחס לטיסה או בסך הכל 22007 בדיוק כמו השיערוך.

שלב ה' – תיקון לסגירת הסחיפה

במקרה זה חזרה לנתיב ע"י הזדהות קרקעית.

שלב ו' – שמירת נתונים מתוקנים

מהירות טיסה: 81 קשרים
כיוון הטיסה 250 (במקום 253) – במקרה הזה לא ממש משמעותי כיוון שהמטרה כבר זוהתה.

שלב ז' – תיקון ע"פ הנתונים בלג הבא

בתחרות הניווט בעין יהב הלג העוקב היה בערך באותו הכיוון כך שלא נידרש שינוי מהותי בתיקונים. לעומת זאת הלג מ CP3 ל CP4 היה בכיוון 130. והיה צורך לבצע תיקון מראש ע"פ הרוח המשווערכת. כיוון 130 הוא צולב ל 220 ולכן צפוי היה שנקבל רוח של 7 קשרים צולבת מימין. זוית התיקון היא $5 = 7/1.25$ מעלות ימינה. הטייס התבקש על כן לטוס 135 (במקום 130) במהירות 75. לו הינו משתמשים במחשב ניווט הינו מקבלים מהירות 74.7 וכיוון 135.4.

נספח א' – חישוב מהירות הרוח בכיוון הטיסה

נזכיר סימונים:

- בנק"ז ימדד ההפרש **בשניות** מהזמן המתוכנן $dT =$
- הפרש חיובי = הגענו מאוחר לנק"ז, מהירות קרקעית נמוכה מהמתוכנן, דורש האצה לתיקון
- הפרש שלילי = הגענו מוקדם לנק"ז, מהירות קרקעית גבוהה מהמתוכנן, דורש האטה לתיקון

הנק"ז נימצא T_p **דקות** מתחילת הלג – כאשר T_p הוא הזמן המתוכנן.

המהירות המתוכננת $S_p =$ (בדרכ"כ 75 קשר)

התיקון לרכיב ניצב של הרוח (אף/גב) $dSw =$

dSw חיובי = רוח גב

dSw שלילי = רוח אף

המהירות הקרקעית $S_{gs} = S_p + dSw$:

בחישוב זה T_p , dT , נמדדים בשעות, $(dT \cdot T_{ph})$ בשלב 10 מחזירים אותם לדקות ושניות בהתאמה.

$$1: S_{gs} = (T_{ph} \cdot S_p) / (T_{ph} + dT)$$

$$2: S_p + dSw = (T_{ph} \cdot S_p) / (T_{ph} + dT)$$

$$3: S_p \cdot T_{ph} + S_p \cdot dT + dSw \cdot T_{ph} + dSw \cdot dT = T_{ph} \cdot S_p$$

$$4: S_p \cdot dT + dSw \cdot T_{ph} + dSw \cdot dT = 0$$

$$5: dSw \cdot (T_{ph} + dT) = S_p \cdot -dT$$

$$6: dSw = S_p \cdot -dT / (T_{ph} + dT)$$

$$7: dSw = S_p \cdot -dT / T(\text{actual})$$

בהנחה ש $dT \ll T_{ph}$:

$$8: dSw \approx S_p \cdot -dT / T_{ph}$$

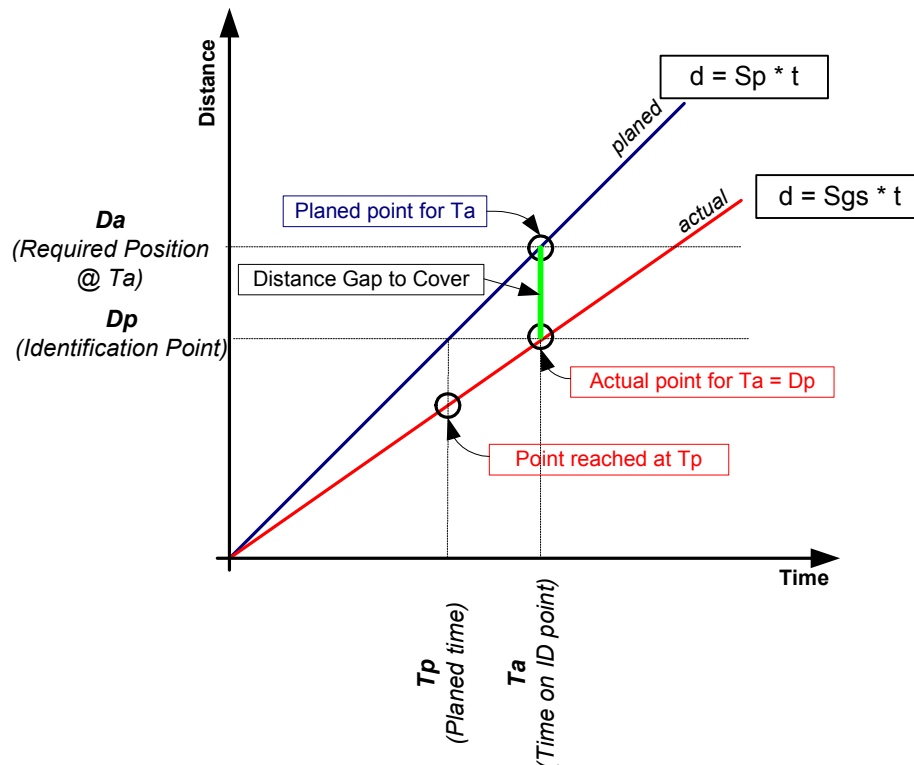
$$9: dSw \approx (S_p/60) \cdot (-dT \cdot 60) / (T_{ph} \cdot 60)$$

$$10 **: dSw \approx 1.25 \cdot (-dT / T_p)$$

(**) dT מדוד בשניות, T_p מדוד בדקות.

(*) ההנחה נכונה לזמני פיגור קטנים יחסית לאורך הלג המתוכנן בדקות, אם זמני הפיגור גדולים (7) יהיה מדויק והקירוב ב (10) יהיה שגוי.

נספח ב' – חישוב מהירות התיקון



סימונים:

p=plan, a=actual, gs=ground speed

טסנו במהירות S_{gs} נמוכה (בגרף לעיל) מהמהירות המתוכננת S_p .

הגענו על כן לנקי"ז D_p בזמן T_a במקום בזמן T_p .

הפער שנוצר הוא:

$$\begin{aligned} D_{gap} &= D_a - D_p \\ &= T_a * S_p - T_a * S_{gs} \\ &= T_a * (S_p - S_{gs}) \\ &= T_a * dSw \end{aligned}$$

dSw היא מהירות הרוח בלג.

נניח שאנחנו רוצים לתקן את הפער במשך T_c דקות, לפיכך הפרש מהירותנו הקרקעית ($dScr$) בשלב התיקון תהיה:

$$-dScr = D_{gap} / T_c = (T_a * dSw) / T_c$$

בהצבת dSw :

$$-dScr = T_a * 1.25 * (-dT / T_a) / T_c$$

$$dScr = 1.25 * (dT / T_c)$$

נספח ג' – הסבר לחוק 1:60

למה חוק 1:60 נכון? מהם המגבלות בהם ניתן להשתמש בו? להלן הסבר תמציתי.
חוק 1:60 אומר שבמשולש ישר זווית. הזווית במעלות מול האנגד (α) מחולקת ב 60 תיהיה שווה ליחס בין האנגד (z) לבסיס המשולש (x).

$$\alpha / 60 = z / x$$

הקירוב נובע מהנוסחאות הבאות:

$$z / x = \operatorname{tg}(\alpha) = \sin(\alpha) / \cos(\alpha)$$

כאשר הזווית α קטנה אז:

$$\sin(\alpha) \approx \alpha$$

$$\cos(\alpha) \approx 1$$

ולכן:

$$\operatorname{tg}(\alpha) \approx \alpha$$

אבל מאיפו מגיע ה"60" המפורסם?
הקירוב לעיל נכון כאשר הזווית מדודה ברדיאנים ולא במעלות. בכל עיגול יש 360 מעלות ו 2π רדיאנים. כדי להמיר רדיאנים למעלות נכפיל ב $180/\pi$ או נחלק ב $\pi/180$.

$$180/\pi = 57.295 \approx 60$$

ולכן:

$$z / x = \operatorname{tg}(\alpha_{\text{radians}}) \approx \alpha_{\text{radians}} \approx \alpha_{\text{degrees}}/60$$

להלן טבלה המראה את השגיאה בשיערוך לפי חוק 1:60:

זווית	$\operatorname{tg}(\alpha)$	$\alpha/60$	טעות
1	0.0175	0.0167	4.5%
3	0.052	0.050	4.6%
5	0.087	0.083	4.7%
10	0.176	0.167	5.5%
15	0.268	0.250	6.7%
20	0.364	0.333	8.4%
25	0.466	0.417	10.6%
30	0.577	0.500	13.4%
40	0.839	0.667	20.5%
50	1.192	0.833	30.1%