

המידע בקובץ זה הינו לשימוש בסימולטור בלבד.

טיסה מתקדמת

טיסה מתקדמת הוא קובץ שנכתב למען הטייסים הוירטואלי של FLIGHT SIMULATOR אשר מעוניינים לטוס על מטוסי נוסעים כפי שעושות חברות התעופה המסחריות מידי יום ביומו ובמיוחד למען טייסי ה V.A.T.S.I.M.

ההמראה עם מטוס קל היא די פשוטה, מנוע מלא, מהירות ניתוק ומהירות טיפוס ולפעמים גם כוח טיפוס, במטוס כבד, סילוני, ורב מנועי העניין שונה לגמרי, עצם העובדה שהמטוס כבד ושוקל עשרות ולפעמים מאות טונות גורמת לכך שיש להשקיע בחישובי משקל המראה, שינויים בטמפי' ובגובה השדה משנים בהרבה את התנהגותו (גם מטוס קל מתנהג שונה אך השינויים מינוריים יחסית), אם הטיסה ארוכה המטוס כבד ואם הטיסה קצרה המטוס קל, גורם שגם משנה את התנהגות המטוס.

- אין לשכוח שהמטוס מסחרי ועלינו לחסוך בדלק ובלאי מנועים, (את מי אני משלה בסימולטור זה חינם, אבל כדאי לטוס אמיתי) לכן נבחר גובה מסוים לטיסה ומהירות טיפוס ושיוט, וכמובן שלא נמלא את מלו כמות הדלק לטיסה כי אז המטוס יהיה כבד ויבזבז כמות דלק על הסחיבה של הדלק המיותר, אך יחד עם זאת עלינו לקחת רזרבות שיאפשרו לנו טיסה בטוחה ליעד.

- למטוס יש יותר ממנוע אחד כך שנוספות לו שתי מהירויות להמראה עליהן נדון בהמשך.

קובץ זה דן בטכניקה שבה אנו מוציאים מידע מהטבלאות מספר ביצועי המטוס, אמנם ההסברים מתבססים על 757-200 אך הטכניקה זהה לכל מטוסי הבואינג שאת נתונייהם ניתן להוריד מ flightsim.com (קבצים שנכתבו ע"י Matt Zagoren) ובהם טבלאות ביצועים של מסי מטוסי בואינג פופלאריים.

הערה: מלבד ידע וטבלאות, יש להצטייד במטוס ובפנל טוב ואמיתי.

מושגי ייסוד:

גובה לחץ – זהו הגובה בו המטוס נמצא מעל פני הים, הוא נמדד במד הגובה אשר מודד לחץ אוויר ומחסיר אותו מהלחץ בגובה פני הים ומחשב את הגובה. אנו צריכים לכוון במד הגובה את ה QNH האקטואלי שזהו הלחץ בגובה פני הים.

טמפרטורה – הטמפרטורה הסטנדרטית בגובה פני הים היא 15° , כל 1000 רגל הטמפרטורה יורדת בשני מעלות.

גובה צפיפות – זהו הגובה הנמדד לפי מפל של צפיפות אוויר. ככול שמטפסים, צפיפות האוויר קטנה וכך גם ככול שהטמפרטורה גדלה ביחס לסטנדרט. בטמפרטורה סטנדרטית גובה צפיפות שווה לגובה לחץ אך אם המטוס טס בגובה מסוים והטמפרטורה גבוהה מהסטנדרט, האוויר יהיה דליל יותר מהמצב הסטנדרטי וביצועיו ירדו לביצועים כמו בגובה גבוה יותר שזהו גובה צפיפות.

מהירות אוויר מכשירית IAS – זו המהירות שאנו רואים במכשיר במטוס, היא נמדדת ע"י צינור הפיטו ופתח סטטי במטוס. כל ביצועי המטוס כמו טיפוס, נחיתה, הזדקרות, המראה... נמדדים לפי מהירות זו.

מהירות מכשירית מתוקנת CAS - צינור הפיטו אשר מודד זרימת אוויר, טועה בכל מיני מצבי טיסה. המהירות המתוקנת מתקבלת מספר מטוס לפי מהירות מכשירית.

מהירות אוויר אמיתית TAS – ככל שגובה הצפיפות עולה (גובה לחץ + טמפ'), הלחץ שנכנס לצינור הפיטו שמודד מהירות מכשירית נמוך יותר ולכן מד המהירות יראה מהירות נמוכה ממהירותנו האמיתית מול גוש האוויר. כלומר ככול שגובה הלחץ עולה המהירות האמיתית גבוהה מהמכשירית.

מהירות קרקע GS – גוש האוויר שבתוכו אנו טסים זו עקב הרוחות, לכן המהירות שהמטוס טס ביחס לקרקע שונה ממהירות האמיתית שהיא מול גוש האוויר. מהירות הקרקע היא המהירות אוויר אמיתית בהתחשב ברוח ובעזרתה מחשבים זמן ממקום למקום. אם יש רוח אף אז מהירות הקרקע קטנה מהאמיתית והפוך.

מס' מאך – MACH, מאך זוהי מהירות התפשטות גלי הקול, הטוס הטס במאך 1, מהירות אוויר אמיתית (TAS) שווה למהירות התפשטות גלי הקול, ככל שהטמפרטורה קטנה, מהירות התפשטות גלי הקול קטנה, לכן ככל שנעלה לגובה הטמפרטורה קטנה ומאך 1 יהיה שווה למהירות אוויר אמיתית קטנה יותר.

דוגמה: בגובה פני הים בטמפ' 20°C , מאך 1 יהיה שווה ל 667.5 קשר (TAS) ובגובה 35000' בטמפ' -50°C , מאך 1 יהיה שווה ל 582.3 קשר (TAS)

מס' מאך שווה ליחס בין מהירות אוויר אמיתית (TAS) ל 1 מאך באותה טמפ'

דוגמה: מטוס משייט בגובה 39000' במהירות 0.84 מאך, טמפ' סטנדרטית

טמפ' בגובה -63°C

מהירות אוויר אמיתית (מאך 1) – 565.1 קשר (TAS)

מהירות אוויר אמיתית (0.84 מאך) – $474.7 = 565.1 \times 0.84$ קשר (TAS)

מהירות אוויר מתוקנת 262 קשר (TAS)

המידע בקובץ זה הינו לשימוש בסימולטור בלבד.

B757-200 RB211-535E4 למטוס מתאימות הטבלאות

טבלת משקל המראה מירבי בנתוני : מדפים 5
 ללא רוח
 גובה פני הים
 ללא שיפוע מסלול
 משקל ב KG X 1000

MPTOW – Maximum Permissible T/O Weight.

אורך מסלול / טמפי	6000'	7000'	8000'	9000'	10000'	11000'	12000'
5°C	103	108	113	117	117	117	117
10°C	97	106	112	116	117	117	117
15°C	95	105	111	116	117	117	117
20°C	94	102	110	115	117	117	117
25°C	94	101	109	114	117	117	117
30°C	93	101	108	114	117	117	117
35°C	92	98	105	112	111	117	117
40°C	85	95	101	107	110	117	117
45°C	83	93	99	105	108	115	117
50°C	79	89	95	101	104	111	116
55°C	75	85	91	97	100	107	112
60°C	71	81	87	93	96	103	109

Maximum T/O EPR/N1

טמפי	EPR	N1
60°C	1.54	
55°C	1.57	96.7
50°C	1.60	97.6
45°C	1.63	98.2
40°C	1.65	98.9
35°C	1.68	99.6
30°C	1.71	100.3
25°C	1.72	99.9
20°C	1.72	99.0
15°C	1.72	98.2
10°C	1.72	97.3

Optimum Altitude

גובה אופטימלי	משקל KG/1000
32700'	110
34800'	100
36900'	90
39100'	80
42000'	70
42000'	60

MACH : טבלת מהירות אופטימלית

גובה					משקל
25	27	33	35	39	
0.74	0.77	0.80	0.80		110
0.71	0.74	0.80	0.80		100
0.69	0.71	0.78	0.80	0.80	90
0.66	0.69	0.75	0.78	0.80	80

VREF מהירויות

מדפים			משקל
20	25	30	
159	150	149	110
151	142	141	100
143	134	132	90
135	126	124	80
125	117	115	70
116	108	105	60

כתב וערך : תומר חיים

המידע בקובץ זה הינו לשימוש בסימולטור בלבד.

מושגי ביצועי מטוס :

MPTOW – Maximum Permissible T/O Weight המשקל המרבי שניתן להמראה בתנאי מז"א, אורך מסלול, גובה שדה, ומצב מדפים

Maximum T/O EPR / N1 – כוח המראה מרבי כפונקציה של טמפרטורה, ככל שהטמפרטורה החיצונית גדלה, ניתן להפעיל פחות כוח מנוע במהלך המראה ע"מ לא לעבור מגבלת טמפי' מנוע (כוח זה ניתן לשימוש במשך חמש דקות בלבד)

V1 – מהירות החלטה, במהלך ריצת המראה עד ההגעה למהירות זו, אם תופסק ההמראה, המטוס יעצור על המסלול, מעבר למהירות זו חייבים להמשיך בהמראה. (אם נבטל המראה בדיוק בהגעה ל V1, המטוס יעצור בדיוק בסוף מסלול)

V-ROTATE – VR – מהירות הרמת אף, בהגעה למהירות זו מרימים אף לזווית טיפוס ראשונית.

V2 – מהירות ביטחון, במצב נורמאלי, יש להגיע למהירות זו הכי מהר שאפשר ולהמשיך טיפוס ב V2+10 עד גובה קיפול מדפים לפי שלבים

VREF – מהירות התייחסות/נחיתה, VREF היא מהירות מעבר מפתן (בנחיתה) למצב של מדפים ומשקל נתון, מהירות זו גם המהירות המינימאלית לטיסה במצב מסויים של מדפים, קיפול מדפים בהמראה והורדת מדפים בנחיתה מבוצע במעבר מהירות המתייחסת למהירות זו עלייה נדון בהמשך.

Assumed Temperature

הרי שברוב ההמראות, המשקל האקטואלי הרבה יותר קטן מהמשקל המרבי להמראה, לכן אין צורך להשתמש במלוא כוח המנועים (שניתן) להמראה, ועלינו להפחית כוח (Redust T/O Thrust).

את המשקל המרבי להמראה מוצאים ע"י שימוש בטבלת **MPTOW** כפונקציה של אורך מסלול וטמפרטורה, ה Assumed Temp היא הטמפרטורה ה"שקרית" שהייתה צריכה להיות אילו המשקל האקטואלי של המטוס היה שווה ל MPTOW.

דוגמה :

- טמפי' 25°C
- אורך מסלול 10000 רגל
- מדפים 5
- משקל אקטואלי 105 טון

פתרון :

ניכנס לטבלת MPTOW ונמצא שהמשקל המרבי להמראה הוא 119 טון, מכיוון שהמשקל האקטואלי הוא רק 103 טון נכנס לטבלה מבפנים ובאותו אורך מסלול (10000 רגל) נמצא שהמשקל הקרוב ביותר הוא 104 טון והטמפי' שהייתה צריכה להיות כדי ש 104 טון יהיה המשקל המרבי להמראה היא 50°C, - בתנאים אלה ה Assumed Temp שווה ל 50°C.

ניכנס עם ה Assumed Temp לטבלת Max T/O EPR/N1 ונמצא שהכוח הרצוי להמראה הוא 1.60 (ולא 1.72 לפי טמפרטורה אקטואלית) כך האצת המטוס בריצת המראה תקטן, מרחק ריצת ההמראה תגדל וכל זה במסגרת המגבלות, נחסוך בדלק ובבלאי מנועים)

הערה : כשמשתמשים ב N1 לצורך המראה, אסור להפחית כוח בעזרת Assumed Temp, כך שברוב המטוסים בסימולטור לא נשתמש באפשרות זו, (עד היום לא יצא לי לראות מטוס בסימולטור שמכשיר ה EPR שלו מתפקד נורמאלי)

כתב וערך : תומר חיים

חישוב כמות הדלק לטיסה ומשקל המראה :

על מנת להגיע בבטחה לשדה היעד, נצטרך לקחת כמות דלק מספיקה, לא, לא לקחת הכל כי אז לא יהיה ניתן לקחת נוסעים ומטען ואולי גם לא נוכל להמריא משדה היציאה, המטוס יהיה כבד ויצרוך יותר דלק : הפסד גדול,

לכן ישנם רזרבות דלק שיש לקחת בנוסף לדלק ליעד :

- 1) **דלק להתנעה והסעה Startup & Taxi**
- 2) **דלק ליעד Trip Fuel** – הדלק מהמראה ועד נחיתה
- 3) **רזרבת נתיב Route reserve** – דלק שחישובו הוא לפי 5% מזמן הטיסה כפול תצרוכת הדלק בשעה האחרונה של הטיסה, מיועד לטעויות ניווט ותחזית מז"א שגויה
- 4) **הולדינג Holding Fuel** – חצי שעת הולדינג מעל שדה היעד (במידה ויש תור לנחיתה ואו מז"א גרוע)
- 5) **שדה משנה Fuel to alternate** – הדלק משדה היעד לשדה משנה
- 6) **דלק מינימלי + רזרבת חברה** – דלק מינימלי במכלים אחרי שכל הדלקים האחרים נגמרים (אותה קבע יצרן המטוס), אם קורה מצב בו המטוס ינחת מתחת לכמות דלק זו, מכריזים חירום, חברת התעופה בה מופעל המטוס רשאית להוסיף לכמות הדלק הזו.

בסופו של דבר, הדלק הנדרש לביצוע הטיסה, הוא סכום כל הסעיפים 1-6

לאחר חישוב הדלק נחשב את Zero Fuel Weight של המטוס, על ידי חיבר : משקל הריק של המטוס + נוסעים + מטען.

נוסיף ל Zero Fuel Weight את כמות הדלק שחישבנו ונקבל **משקל המראה אקטואלי**

בחירת גובה טיסה – ככל שמטפסים לגובה, צפיפות האוויר קטנה, לכן יעילות הכנף ויעילות המנועים קטנה, מה שגורם למטוס לטפס בקצב הולך וקטן ככל שהגובה גדל, עד שהמטוס מגיע לסייג רום (גובה שמעליו המטוס אינו מסוגל לטפס עוד). ככול שהמטוס קל יותר, גובה זה גדול יותר, כמו כן תצרוכת הדלק קטנה ככל שמטפסים בגובה.

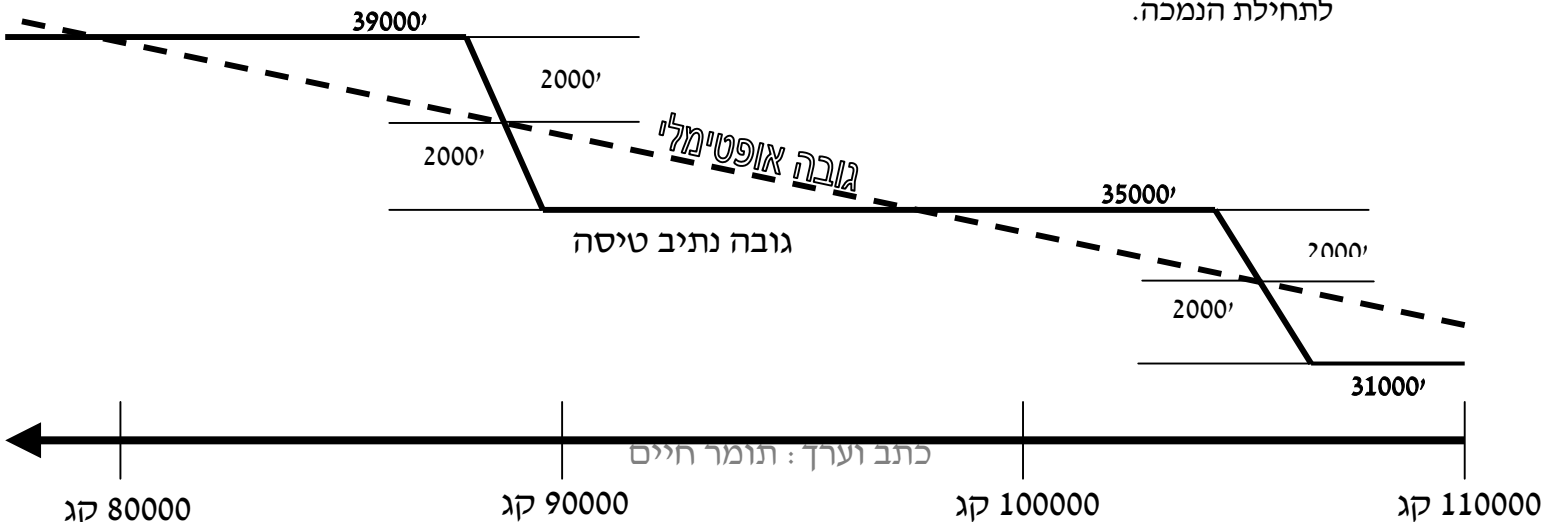
מתחת לסייג רום (בסביבות 2000') **נמצא הגובה האופטימאלי** לטיסה שבו תצרוכת הדלק תהיה הכי קטנה למרחק טיסה מסוים (בגובה גבוה מהאופטימאלי נצרוך "פחות דלק אך נשתמש ביותר כוח מנועים, ובגובה נמוך ממנו נצרוך יותר).

גובה הטיסה האופטימאלי גדל ככל שמשקל המטוס קטן.

גבהיי הנתיבים שונים בכיוונים שונים למען הפרדת גובה בין מטוסים לכן נבחר גובה לטיסה כזה שיהיה הכי קרוב לגובה האופטימאלי אך נמוך מסייג הרום.

טיפוס מדורג – Step Climb – כאמור לעיל גובה הטיסה האופטימאלי גדל ככל שמשקל המטוס קטן, ומשקל המטוס קטן ככל שממשיכים בטיסה, בטיסות ארוכות עלינו לשנות ובעצם להגדיל גובה טיסה לפי הגובה האופטימאלי באותו הרגע.

אחרי ההמראה אנו נטפס לגובה הנתיב לפי המשקל שבו המראנו וברגע שנהיה 2000' מתחת לגובה האופטימאלי (הפרדת גבהים ICAO היא 4000') נטפס לשלב הבא ונהיה 2000' מעל האופטימאלי, בהמשך הגובה האופטימאלי יגדל עם הקטנת משקל המטוס וכשנהיה שוב 2000' מתחתיו נטפס 4000' לשלב הבא 2000' רגל מעל האופטימאלי וכך הלאה עד לתחילת הנמכה.

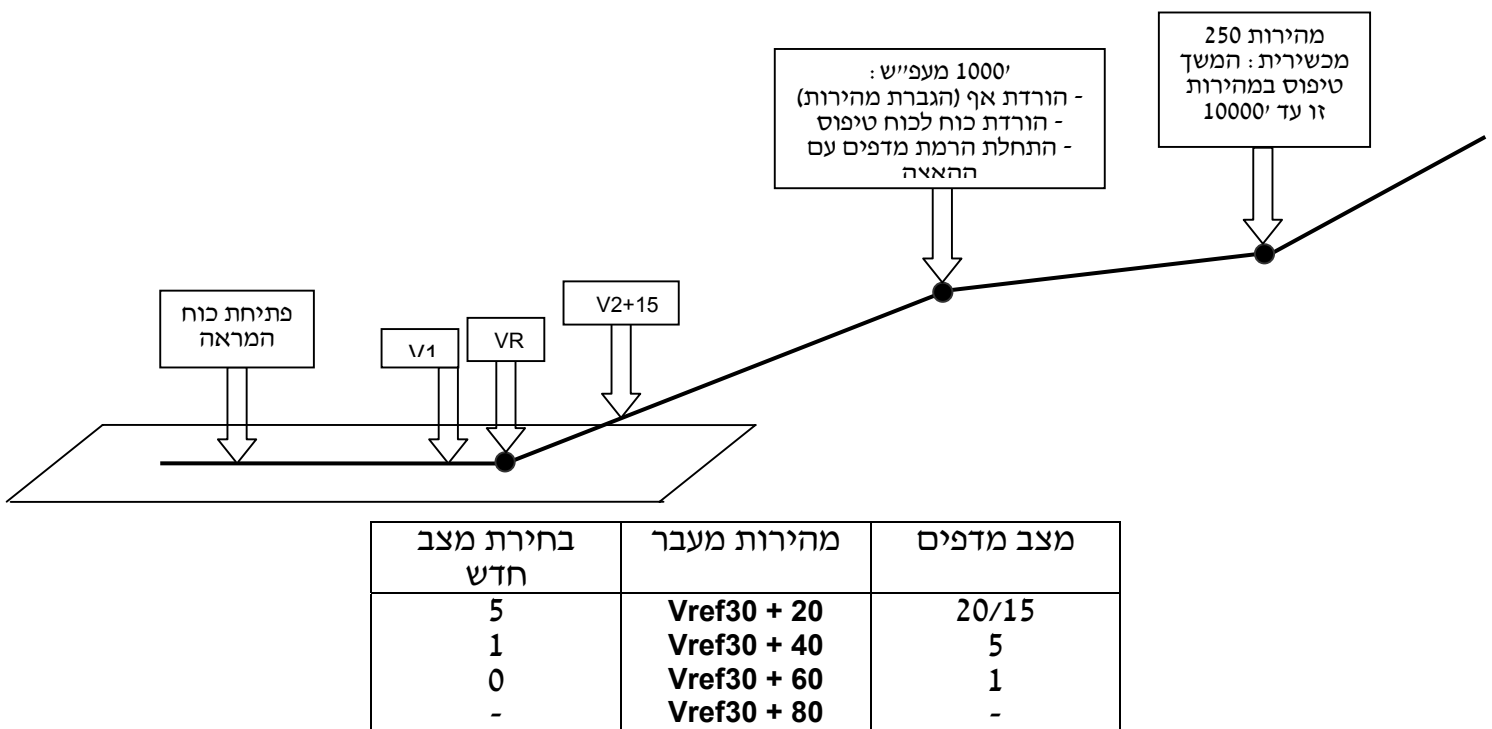


המידע בקובץ זה הינו לשימוש בסימולטור בלבד.

בחירת מהירות טיסה – מהירות הטיסה האופטימאלית היא מהירות שבה המטוס יצרוך את כמות הדלק הקטנה ביותר למרחק (אווירי) מסוים, במטוסים זו המהירות שבה זווית ההתקפה היא הזווית האופטימלית (לכל מטוס זווית אופטימלית משלו שקבועה בכל המשקלים). ככל שמשקל המטוס קטן (והמטוס שומר מהירות) זווית ההתקפה קטנה ולכן עלינו להקטין מהירות כדי להחזיר את זווית ההתקפה לערך של הזווית האופטימאלית, כלומר ככל שמשקל המטוס קטן יש להפחית מהירות ע"מ לצרוך כמות דלק קטנה ככל שניתן במרחק נתון.
את המהירות האופטימלית ניתן למצוא בטבלת מהירות אופטימלית לפי גובה ומשקל.

המראה וטיפוס ראשוני – כמו שמצוין קודם נפתח כוח לכוח המראה מלא או מופחת, את אינדיקציות כוח ההמראה נקבל במהירות 80 קשר (מהירות משפיעה על נתוני EPR/N1), מקריאים מהירות V1 וממשיכים, ב VR מרימים אף בעדינות ל $20^\circ \sim 3^\circ$ בשנייה), שעור נסיקה חיובי, הרמת גלגלים והגעה ל V2 – שמירת מהירות V2+15 עד גובה 1000' (מעל פני השטח).
הערה: (לפעמים נתבקש ע"י הדפית או הפקח לצאת מהירות מינימאלית (V2+15) במקרה שלנו) ואז נשמור מהירות זו עד גובה 3000'.

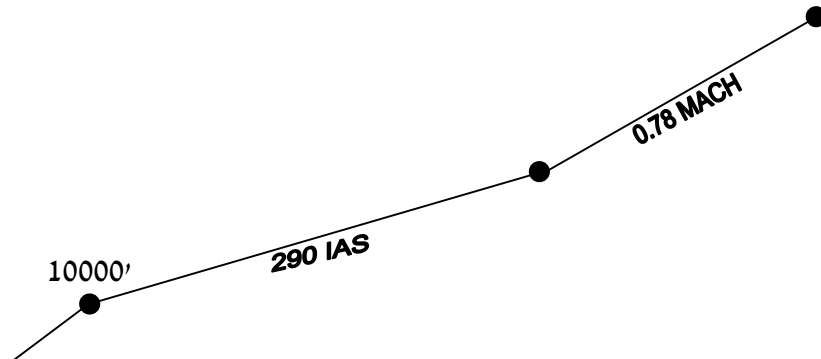
גובה 1000': הורדת אף ל $10^\circ \sim$ על מנת להגביר מהירות ולהרים מדפים לפי מהירות, כמובן ככל שהמהירות תגדל נוכל להרים יותר ויותר שלבי מדפים, כמו כן מפחיתים כוח לכוח טיפוס ראשוני (ניתן להשתמש בכוח המראה חמש דקות בלבד) ממשיכים בשיעור נסיקה נמוך עד מהירות 250 מכשירית (המגבלה מתחת ל 10000' היא 250 קשר לכל סוגי המטוסים, אלה אם אושר אחרת).



הערה: במציאות ה AT (Auto throttle) מקבל נתונים מה-FMC על כוח ההמראה והטיפוס הנדרשים ומקבע את המצעות בכוח זה ושומר מהירות ע"י מצב אף, פונקציה כזו קיימת רק אם נשתמש בפנלים עם FMC כמו PIC767 או PSS747 ואחרים, במטוסים שנבנו עם היכולות הרגילות של הסימולטור, ה AT יודע לשמור על מהירות לכן נכיל לפני ההמראה מהירות 250, נכוון כוח המראה ידנית (כמו ב 200-747) ורק כשנגיע למהירות 250 קשר נפעיל AT ונטפס בשיעור נסיקה כזה שיביא את ה AT לכוח טיפוס – (אם הכוח הנדרש לטיפוס קטן מידי, נגדיל שיעור נסיקה וההפך, ואם המטוס לא מצליח לשמור מהירות 250 נקטין שעור נסיקה).

המידע בקובץ זה הינו לשימוש בסימולטור בלבד.

מעבר 10000' – לאחר מעבר 10000' עם סיום מגבלת 250 קשר, תמיד נשאף לטפס המהירות הכי חסכונית מבחינת דלק, ב 757 מהירות זו היא 290/290.78 כלומר מורידים אף למהירות מכשירית 290 קשר, במצב זה המטוס מטפס, ה TAS גדל והטמפרטורה קטנה, כתוצאה משינויים אלה מס המאך גדל עם העלייה לגובה, ברגע שמש' המאך יגיע ל 0.78 נשמור מס' מאך זה (מהירות מכשירית הולכת וקטנה) עד גובה היעד.



הנמכה – גם בהנמכה שואפים לטוס חסכוני לכן ננמך במצב מנועים סרק Idle Thrust, המטוס ינמך בגלישה, המהירות תהיה המהירות האופטימאלית להנמכה שבה נעבור את המרחק הגדול ביותר כלפי ירידה מסוימת בגובה, ב 757, מהירות זו היא 290.78/290.250. כלומר אם אנו טסים במאך גדול מ 0.78 נקטין מהירות ל 0.78 ונשמור מהירות זו ע"י מצב אף עש שהמהירות המכשירית תהיה 290 וכמובן מתחת ל 10000' או על פי דרישה נעבור ל 250 קשר.

הערות כלליות: הנתונים בקובץ זה הם לגבי בואינג 757-200 אך "שיטת העבודה" כמעט זהה בכל המטוסים, כלומר לכל מטוס יש טבלאות ונתונים משלו אבל חישובי הדלקים וטכניקת, טיפוס הנמכה ושיוט בכלם זהה.

חישובי דלק, ניתן לחשב דלקים ע"י שימוש בתוכנת ה FLIGHT PLAN שנמצאת בתוך הסימולטור שתיתן כמות דלק, כמעט מדויקת.

דרך אחרת לחשב כמות דלק היא שימוש ב FSNAV ששם ניתן להזין את נתוני המטוס הכלליים ולהגיע לרמת דיוק גבוהה יותר (אבל ללא רוח), הבעייה תיווצר כשתהיה לנו רוח אף חזקה בנתיב ובגלל ה FSNAV ניקח כמות דלק קטנה מהדרוש, לתיקון תופעה זו ניתן להגדיל מעט את תצרוכת הדלק של המטוס בנתוני ה FSNAV ע"מ שנהיה "בצד הבטוח" של הטיסה, יש גם "תופעה אחרת" ה FSNAV "חושב" שצריכת הדלק זהה לאורך כל הטיסה ובפועל ככל שמשקל המטוס קטן, תצרוכת הדלק קטנה לכן גם ללא רוח נקבל כמות דלק גדולה יותר ב FSNAV מאשר בפועל, מה שמקטין את סיכוי המטוס להשאר ללא דלק ברוח אף.

להלן נתוני בואינג 757-200 להזנה ב FSNAV :

Name:	Boeing 757		
	New	Save	Delete...
<input type="checkbox"/> Autopilot without Air Speed Hold			
Indicated Air Speed [kts]:	Cruise 255	Climb 276	Touch down 140
Altitude [ft]:	39000		
Rate [fpm]:		1900	Descent 1660
Fuel flow: kg/h	3755	7895	955

- ישנם תוכניות טיסה אחרות, מקצועיות יותר כמו זו של JEPPESEN שיתנו רמת דיוק גדולה יותר