

# Proračun karakterističnih točaka na ruti leta

---

Žuti, Antonio

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:561423>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-26**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Antonio Žuti**

**PRORAČUN KARAKTERISTIČNIH TOČKA NA  
RUTI LETA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2015.**

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet Prometnih Znanosti

**ZAVRŠNI RAD**

**PRORAČUN KARAKTERISTIČNI TOČKA NA RUTI  
LETA**

**CALCULATION OF THE SPECIFIC POINTS ALONG  
FLIGHT ROUTE**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Doris Novak

Student: Antonio Žuti, 0135221812

Zagreb, Rujan 2015

## Popis kratica

CH	Potrošnja goriva od PNR
CO	Potrošnja goriva do PNR
D	Udaljenost (engl. Distance)
$D_{A-PNR}$	Udaljenost od A do PNR
$D_{PNR-A}$	Udaljenost od PNR do A
$D_T$	Ukupna udaljenost (engl. Total Distance)
$D_T - X_{PET}$	Udaljenost od PET
E	Istrajnost leta (engl. Endurance)
EASA	Europska agencija za sigurnost zračnog prometa (engl. European Aviation Safety Agency)
EDDH	Zračna luka Hamburg
$E_S$	Sigurna istrajnost leta (engl. Safe Endurance)
$E_S - T_{PNR}$	Vrijeme od PNR
ETOPS	Produljen dolet dvomotornih zrakoplova (engl. Extended Range Twin Operations)
F	Dostupno gorivo (bez rezerve) za proračun PNR
$F_{A-PNR}$	Gorivo potrebno za let od A do PNR
FF	Protok goriva (engl. Fuel Flow)
$F_{PNR-A}$	Gorivo potrebno za let od PNR do A
$H_{PET}$	Putna brzina od PET do odlaznog aerodroma
$H_{PET(SE)}$	Putna brzina od PET do odlaznog aerodroma (samo jedan motor radi)
$H_{PET(TE)}$	Putna brzina od PET do odlaznog aerodroma (oba motora rade)
$H_{PNR}$	Putna brzina od PNR
ISA	Međunarodna standardna atmosfera (engl. International Standard Atmosphere)
LDZA	Međunarodna zračna luka Zagreb
m	Masa (engl. Mass)
MEP1	Kategorija višemotornih klipnih zrakoplova (engl. Multi-Engined Piston Airplane)
MLM	Najveća dopuštena masa pri slijetanju (engl. Maximum Landing Mass)

---

MRJT1	Kategorija mlaznih transportnih zrakoplova srednjeg doleta (engl. Medium-Range Jet Transport Airplane)
MSA	Najniža sigurna visina leta (engl. Minimum Safe Altitude)
MTOM	Najveća dopuštena masa pri polijetanju (engl. Maximum Take Off Mass)
MZFM	Najveća dopuštena masa bez goriva (engl. Maximum Zero Fuel Mass)
$O_{PET}$	Putna brzina od PET do dolaznog aerodroma
$O_{PET(SE)}$	Putna brzina od PET do dolaznog aerodroma (samo jedan motor radi)
$O_{PET(TE)}$	Putna brzina od PET do dolaznog aerodroma (oba motora rade)
$O_{PNR}$	Putna brzina do PNR
PA-44	Piper PA-44 Seminole
PET	Točka jednakog vremena (engl. Point of Equal Time/Critical Point)
PNR	Točka sigurnog povratka (engl. Point of Safe Return/Point of No Return)
POH	Pilotski priručnik zrakoplova (engl. Pilot's Operating Handbook)
SEP1	Kategorija jednomotornih klipnih zrakoplova (engl. Single-Engined Piston Airplane)
SI	Međunarodni sustav mjernih jedinica (engl. International System of Units)
T	Vrijeme (engl. Time)
$T_{PET-A}$	Vrijeme od PET do A
$T_{PET-B}$	Vrijeme od PET do B
$T_{PNR}$	Vrijeme do PNR
u	Brzina vjetra (engl. Wind Speed ili WS)
$u_{uzd}$	Komponenta brzine vjetra u odnosu na uzdužnu os zrakoplova (engl. Track Wind Component ili TWC)
v	Stvarna brzina leta (engl. True Air Speed ili TAS)
w	Putna brzina leta (engl. Ground Speed ili GS)
V	Volumen (engl. Volume)
$X_{PET}$	Udaljenost do PET
$\beta$	Upadni kut vjetra (engl. Relative Wind Angle ili RWA)

## Sažetak

U završnom radu definirani su pojmovi istrajnosti leta zrakoplova i sigurne istrajnosti leta zrakoplova. Prikazane su metode proračuna istrajnosti leta zrakoplova za kategorije zrakoplova SEP1 i MEP1. Definirane su Točka sigurnog povratka i Točka jednakog vremena. Izvedeni su izrazi za proračun Točke sigurnog povratka i Točke jednakog vremena, te je objašnjena metoda proračuna tih točaka pomoću Navigacijskog računala E6-B. Kako bi se prikazao položaj Točke sigurnog povratka i Točke jednakog vremena na konkretnoj ruti leta, proračunata je ruta leta između Međunarodne zračne luke Zagreb (LDZA) i Zračne luke Hamburg (EDDH). Za proračun su korišteni podaci o letnim karakteristikama i performansama zrakoplova Piper PA-44 Seminole objavljeni u Pilotskom priručniku zrakoplova za taj zrakoplov.

Ključne riječi: Sigurna istrajnost leta zrakoplova; Točka sigurnog povratka; Točka jednakog vremena.

---

## Summary

In the Final Paper, terms of Endurance and Safe Endurance of the aircraft are defined. The methods for calculation of Endurance of the aircraft categories SEP1 and MEP1 are also shown. Further more, Point of No Return and Point of Equal Time are defined. Next, equations for calculation of Point of No Return and Point of Equal Time are derived and is also explained the method for calculation of these points with Flight Computer E6-B. To show the position of Point of No Return and Point of Equal Time on specific flight route, the flight route between Zagreb Intenational Airport (LDZA) and Hamburg Airport (EDDH) is calculated. For calculation, flight characteristics and performances data of aircraft Piper PA-44 Seminole published in Pilot's Operating Handbook, are used.

Keywords: Safe endurance; Point of No Return (Point of Safe Return); Point of Equal Time (Critical Point).

## Sadržaj

1. Uvod .....	1
2. Definiranje elemenata i način proračuna istrajnosti leta zrakoplova .....	3
3. Metodologija proračuna Točke sigurnog povratka .....	8
3.1. Utjecaj vjetra na proračun Točke sigurnog povratka.....	12
3.2. Proračun Točke sigurnog povratka za let u više etapa .....	14
3.3. Izvod izraza za Točku sigurnog povratka pri promjenjivoj potrošnji goriva ..	15
4. Metodologija proračuna Točke jednakog vremena .....	17
4.1. Utjecaj vjetra na proračun Točke jednakog vremena.....	21
4.2. Proračun Točke jednakog vremena za let u više etapa .....	23
5. Proračun Točke sigurnog povratka i Točke jednakog vremena na ruti leta Zagreb – Hamburg .....	25
6. Zaključak .....	32
Literatura .....	33
Popis slika .....	34
Popis tablica .....	34
Prilog 1: Prikaz rute leta LDZA – EDDH u vertikalnoj ravnini.....	35
Prilog 2: Karta ucrtane rute leta LDZA – EDDH (1) .....	36
Prilog 3: Karta ucrtane rute leta LDZA – EDDH (2) .....	37
Prilog 4: Karta ucrtane rute leta LDZA – EDDH (3) .....	38
Prilog 5: Karta ucrtane rute leta LDZA – EDDH (4) .....	39

# 1. Uvod

Planiranje leta sastavni je dio letenja. Ono omogućava pilotu bolju prostornu orijentiranost za vrijeme leta, što je vrlo bitno u slučaju izvanrednih situacija. Ukoliko je pilot svjestan svoje pozicije, on će u slučaju otkaza motora odmah znati da li u blizini postoji adekvatan aerodrom za prinudno slijetanje.

Proračun karakterističnih točaka na ruti leta vrlo je bitan prilikom letova prema izoliranim aerodromima ili aerodromima bez adekvatne alternacije. Ako su pozicije Točke sigurnog povratka i Točke jednakog vremena poznate, pilot će moći brže i točnije odlučiti da li je sigurnije nastaviti let ili se vratiti na odlazni aerodrom u slučaju ozbiljnijeg kvara na zrakoplovu ili nekog drugog izvanrednog događaja.

Cilj rada je objasniti značenje i metodologiju proračuna karakterističnih točaka na ruti leta, te prikazati da poznavanje tih točaka doprinosi kvalitetnijem i sigurnijem izvođenju leta.

Završni rad Proračun karakterističnih točaka na ruti leta podijeljen je u šest cjelina:

1. Uvod
2. Definiranje elemenata i način proračuna istrajnosti leta zrakoplova
3. Metodologija proračuna Točke sigurnog povratka
4. Metodologija proračuna Točke jednakog vremena
5. Proračun Točke sigurnog povratka i Točke jednakog vremena na ruti leta Zagreb – Hamburg
6. Zaključak.

U drugom poglavlju definirana je istrajnost leta zrakoplova, kao i faktori koji na nju utječu. Objasnjeni su načini proračuna istrajnosti leta zrakoplova te su prikazani primjeri za proračun istrajnosti leta za zrakoplove kategorija SEP1 i MEP1.

U trećem poglavlju definirana je Točka sigurnog povratka, te je izveden izraz za njen proračun. Prikazan je utjecaj vjetera i različite potrošnje goriva na proračun Točke sigurnog povratka i metodologija proračuna Točke sigurnog povratka za let u više etapa. Teorijsko izlaganje i izvodi izraza potkrijepljeni su jednostavnim primjerima.



U četvrtom poglavlju definirana je Točka jednakog vremena, te je izveden izraz za njen proračun. Prikazan je utjecaj vjetra na proračun Točke jednakog vremena i metodologija proračuna Točke jednakog vremena za let u više etapa. Teorijsko izlaganje i izvodi, kao i u trećem poglavlju, potkrijepljeni su jednostavnim primjerima.

U petom poglavlju prikazan je primjer proračuna karakterističnih točaka na ruti leta između Međunarodne zračne luke Zagreb i Zračne luke Hamburg za zrakoplov Piper PA-44 Seminole kako bi se prikazala praktična primjena tih točaka. Za proračun su korišteni izvodi i metode objašnjeni u prethodnim poglavljima. Pri proračunu su u obzir uzeti realni atmosferski uvjeti, te letne karakteristike i performanse zrakoplova prema Pilotskom priručniku zrakoplova za zrakoplov Piper PA-44 Seminole. Za izradu prikaza rute leta u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini korišten je računalni program SkyDemon.

## 2. Definiranje elemenata i način proračuna istrajnosti leta zrakoplova

Istrajnost leta zrakoplova (engl. Endurance) je ukupno vrijeme koje zrakoplov može provesti u zraku. Istrajnost leta zrakoplova se dijeli na ukupnu istrajnost leta zrakoplova (engl. Total Endurance) i sigurnu istrajnost leta zrakoplova (engl. Safe Endurance). Ukupna istrajnost leta je vrijeme koje zrakoplov može provesti u zraku dok ne potroši ukupnu količinu goriva koju ima u rezervoarima. Sigurna istrajnost leta je vrijeme koje zrakoplov može provesti u zraku bez korištenja obaveznog rezervnog goriva koje se mora nalaziti u rezervoarima pri dolasku na aerodrom na kojem je planirano slijetanje. Za buduće proračune koristi se sigurna istrajnost leta.

Na istrajnost leta zrakoplova utječu fizičke karakteristike zrakoplova i stanje atmosfere u kojoj zrakoplov leti. Povećanje mase zrakoplova povećat će otpor zrakoplova i potrebnu snagu, a samim time i potreban potisak i protok goriva, što će dovesti do smanjenja istrajnosti leta. Let u toplom zraku (toplijem od standardne atmosfere) kod klipnih motora će zahtijevati povećanje snage i protoka goriva, što će također smanjiti istrajnost leta. Na istrajnost leta utječe i visina leta, ali je njen utjecaj zanemariv.

Istrajnost leta može se izračunati iz podataka o ukupnoj količini goriva/količini goriva koja se smije potrošiti i protoku goriva (engl. Fuel Flow). Količina goriva se može iskazati volumenom ( $V$ ) [L, US Gal] ili masom ( $m$ ) [kg, lb], pa i protok goriva može biti volumni [L/h, US Gal/h] i maseni [kg/h, lb/h].

Izrazi za istrajnost leta zrakoplova su:

$$E[h] = \frac{V[L]}{FF \left[ \frac{L}{h} \right]} \quad [2.1]$$

$$E[h] = \frac{m[kg]}{FF \left[ \frac{kg}{h} \right]} \quad [2.2]$$

Nadležne zrakoplovne vlasti propisale su način podjele goriva za let (od paljenja motora do slijetanja na dolazni aerodrom ili dolaznu alternaciju) u dokumentu EU-OPS 1 u pododjeljku D. Propisana količina goriva koja se mora nalaziti u zrakoplovu na odlaznom aerodromu sastoji se od:

- a) Goriva za taksiranje (engl. Taxi Fuel)
- b) Goriva za put (engl. Trip Fuel)
- c) Goriva za nepredviđene situacije (engl. Contingency Fuel)
- d) Dodatnog goriva (engl. Additional Fuel)
- e) Dodatnog gorivo na zahtjev kapetana (engl. Extra Fuel).

Gorivo za nepredviđene situacije uobičajeno iznosi 5 % goriva za put, ali može se računati na više načina. Neki zrakoplovni prijevoznici sami propisuju količinu goriva za nepredviđene situacije u svojim operativnim priručnicima.

Količina dodatnog goriva također je propisana, ali se količine razlikuju ovisno o tome o kojoj se kategoriji zrakoplova radi (SEP1 – Single-Engined Piston Aeroplane, MEP1 – Multi-Engined Piston Aeroplane, MRJT1 – Medium-Range Jet Transport Aeroplane).

Za planiranje leta, istrajnost leta zrakoplova se računa/čita iz unaprijed proračunatih tablica ili dijagrama koje operater dobije od strane proizvođača zrakoplova. Metode proračuna se razlikuju ovisno o kategoriji zrakoplova. U sljedećim primjerima prikazani su dijagrami i opis korištenja dijagrama za proračun istrajnosti leta prema CAP 697 za generičke zrakoplove koji predstavljaju kategorije zrakoplova SEP1 i MEP1.

#### PRIMJER 2.1. – Jednomotorni klipni zrakoplov (SEP1)

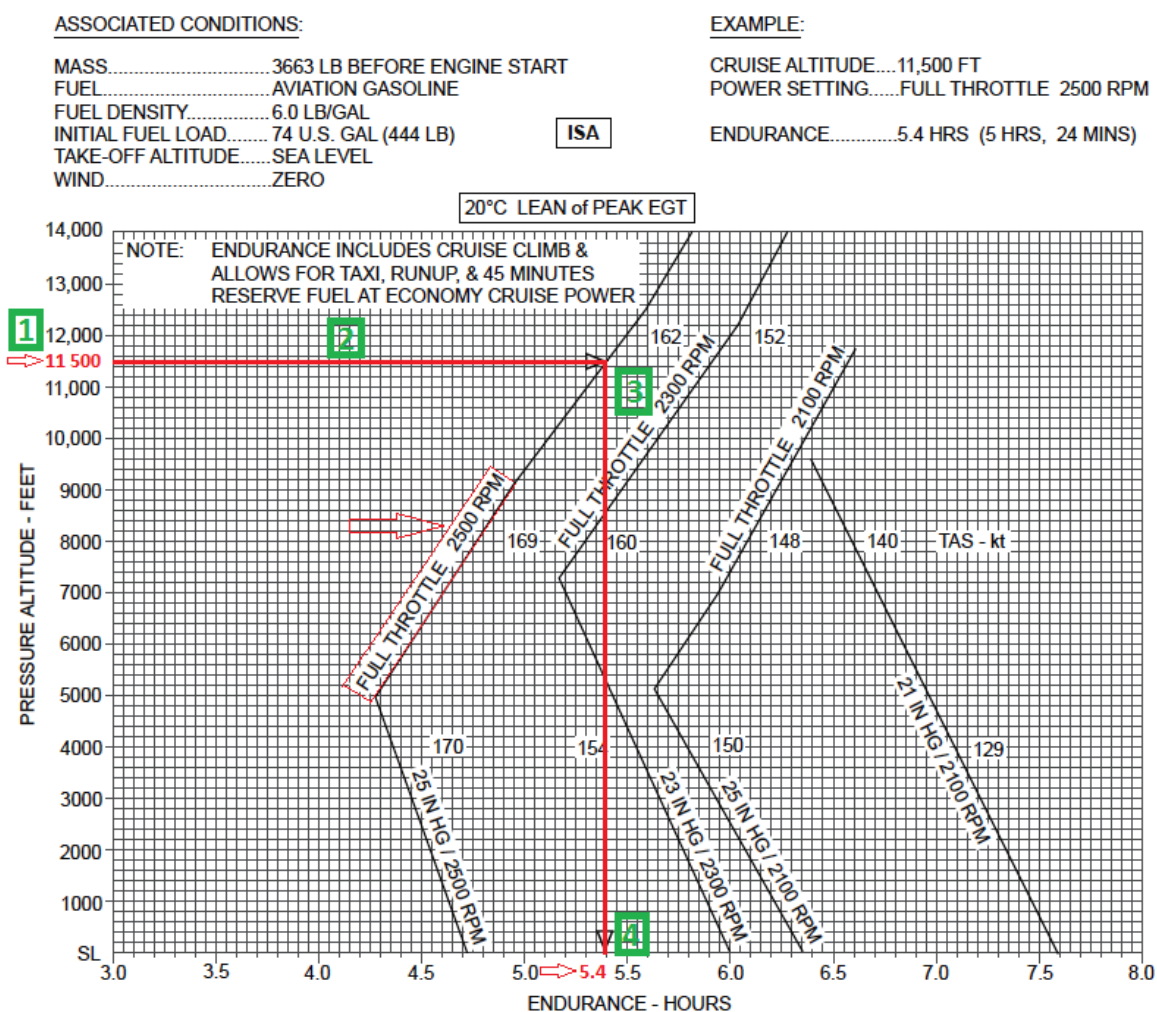
Zrakoplov je jednokrilač s jednim klipnim motorom i elisom promjenjivog koraka. Zrakoplov ima uvlačeći stajni trap. Ostali podaci:

- Najveća dopuštena masa pri polijetanju (MTOM) = 3 650 lb
- Najveća dopuštena masa pri slijetanju (MLM) = 3 650 lb
- Najveća količina goriva = 74 US Gal
- Gustoća goriva = 6 lb/US Gal, ako nije drugačije navedeno
- Visina krstarenja = 11 500 ft
- Postavka snage = Puna snaga, 2 500 RPM.

Postupak proračuna je sljedeći:

1. U dijagram se ulazi na lijevoj strani (skala visine krstarenja) od zadane visine krstarenja (11 500 ft).
2. Povuci horizontalnu crtu udesno prema krivuljama postavke snage.
3. Od mjesta na kojem horizontalna linija siječe krivulju zadane postavke snage (puna snaga, 2 500 RPM) povuci okomitu crtu prema dolje.
4. Na donjoj strani dijagrama (skala istrajnosti leta) pročitati istrajnost leta za zadane uvijete.

Rezultat: Istrajnost leta je 5,4 h, uključujući vrijeme potrebno za penjanje u krstarenju, vožnju, paljenje i probu motora, te rezervu (45 min) sa ekonomičnom postavkom snage. Postupak je grafički prikazan na Slici 2.1.



Slika 2.1 Proračun istrajnosti leta za kategoriju zrakoplova SEP1

## PRIMJER 2.2. – Višemotorni klipni zrakoplov (MEP1)

Zrakoplov je jednokrillac sa dva klipna motora i elisama promjenjivog koraka i obrnute rotacije. Zrakoplov ima uvlačeći stajni trap. Ostali podaci:

- Najveća dopuštena masa pri polijetanju (MTOM) = 4 750 lb
- Najveća dopuštena masa bez goriva (MZFM) = 4 470 lb
- Najveća dopuštena masa pri slijetanju (MLM) = 4 513 lb
- Najveća količina goriva = 123 US Gal
- Gustoća goriva = 6 lb/US Gal, ako nije drugačije navedeno
- Visina krstarenja = 16 500 ft
- Postavka snage = 45 %.

Postupak proračuna je sljedeći:

1. U dijagram se ulazi na lijevoj strani (skala visine krstarenja) od zadane visine krstarenja (16 500 ft).
2. Povuci horizontalnu crtu udesno prema krivuljama postavke snage. Na dijagramu se nalaze dvije skupine krivulja postavki snage: istrajnost leta sa rezervom (45 min) i istrajnost leta bez rezerve.
3. Od mjesta na kojem horizontalna linija siječe krivulje zadane postavke snage (45 %) povuci okomite crte prema dolje.
4. Na donjoj strani dijagrama (skala istrajnosti leta) pročitati istrajnosti leta za zadane uvijete.

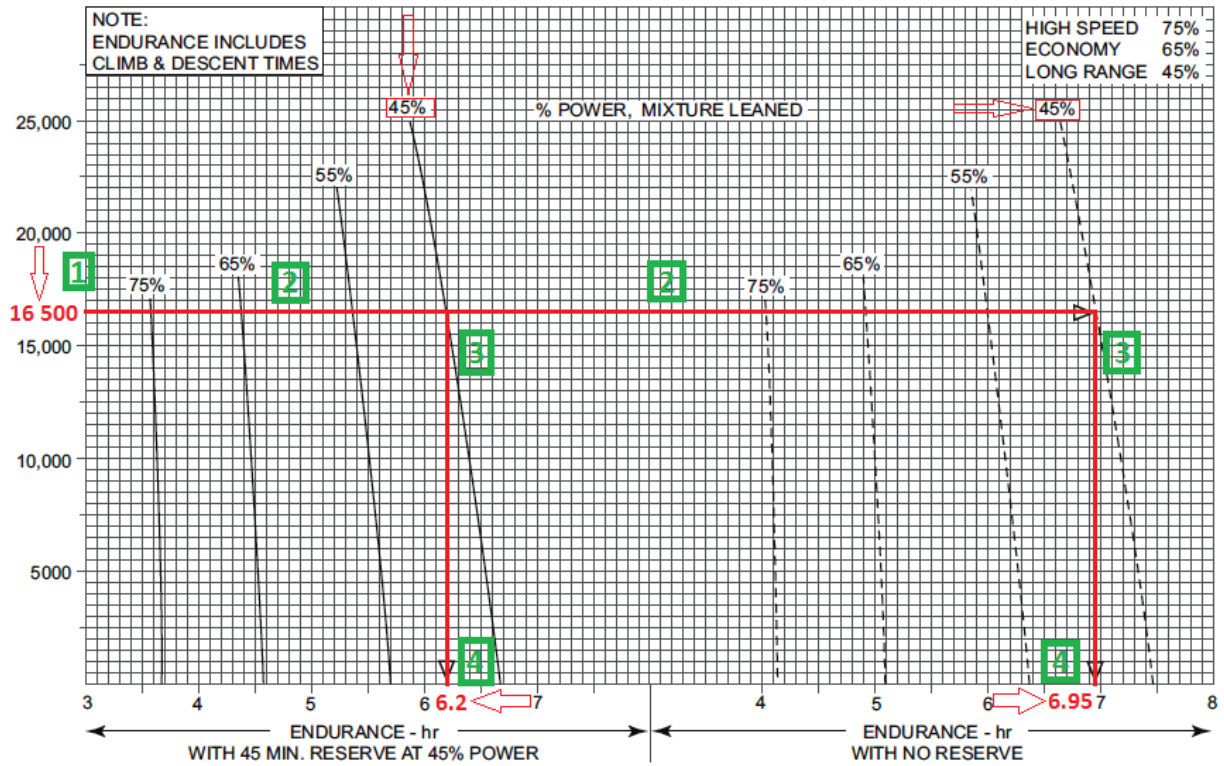
Rezultat: Istrajnost leta sa rezervom (45 min) je 6,2 h, a istrajnost leta bez rezerve je 6,95 h. U oba slučaja istrajnost leta uključuje vrijeme potrebno za penjanje i spuštanje. Postupak je grafički prikazan na Slici 2.2.

ASSOCIATED CONDITIONS:

USABLE FUEL 123 gal 4750 lb  
 AIRCRAFT CLEAN  
 COWL FLAPS CLOSED  
 CLIMB AT MAX. CONTINUOUS POWER  
 DESCENT AT 1000 fpm & 145 kt IAS, NO WIND  
 4.2 gal FUEL FOR START, TAXI & TAKE-OFF

EXAMPLE:

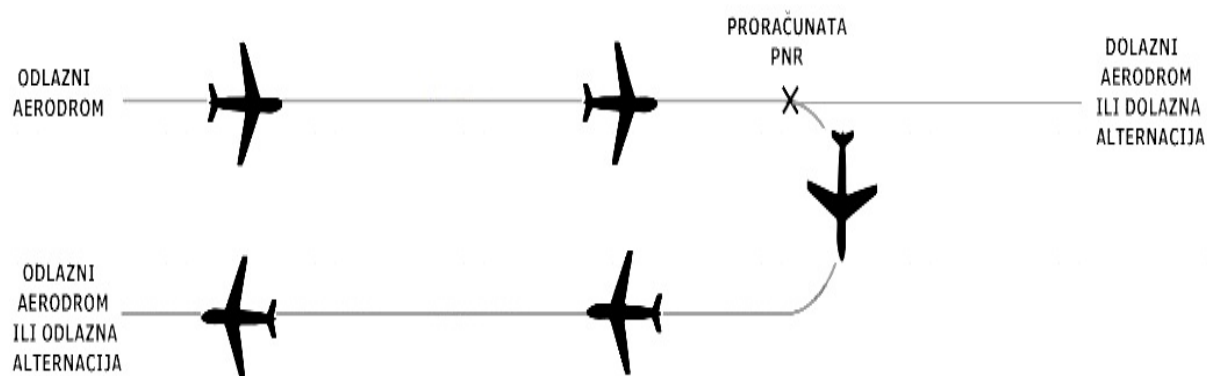
CRUISE ALTITUDE.....16,500 ft  
 POWER.....45%  
 ENDURANCE WITH RESERVE.....6.2 hr  
 ENDURANCE WITH NO RESERVE.....6.95 hr



Slika 2.2 Proračun istrajnosti leta za kategoriju zrakoplova MEP1

### 3. Metodologija proračuna Točke sigurnog povratka

Točka sigurnog povratka (engl. Point of Safe Return/Point of No Return ili PNR) je najudaljenija točka na planiranoj ruti do koje zrakoplov može doći i nakon toga se vratiti na odlazni aerodrom ili odlaznu alternaciju, uzimajući u obzir sigurnu istrajnost leta zrakoplova. Grafički prikaz pozicije PNR prikazan je na Slici 3.1.



Slika 3.1 Prikaz pozicije Točke sigurnog povratka

Ukoliko se meteorološka situacija, stanje uzletno-sletne staze ili politička situacija na dolaznom aerodromu pogoršava, a alternativna mogućnost je jedino povratak na odlazni aerodrom ili odlaznu alternaciju, preporuča se proračun PNR. Proračun PNR obavezan je jedino za letove prema izoliranim aerodromima ili prema aerodromima bez adekvatne alternacije, kao što su letovi prema Uskršnjem Otoku, Kokosovom Otoku, Tahitiju ili Azorima. Izolirani aerodrom je aerodrom za koji je količina goriva potrebna za let do najbližeg adekvatnog alternativnog aerodroma i obaveznog rezervnog goriva veća od količine goriva potrebne za dva sata leta pri normalnoj potrošnji goriva iznad dolaznog aerodroma. Adekvatni aerodrom je aerodrom koji zadovoljava sigurnosne zahtjeve za slijetanje i polijetanje u komercijalne i nekomercijalne svrhe za određeni tip zrakoplova.

Tijekom leta, prije očekivanog vremena dolaska na PNR, pilot treba provjeriti meteorološku situaciju i stanje uređaja za prilaz i slijetanje na dolaznom aerodromu za period od jedan sat prije i poslije očekivanog vremena dolaska na dolazni aerodrom.

Udaljenost od odlaznog aerodroma do PNR je jednaka udaljenosti od PNR do odlaznog aerodroma. Vrijeme od odlaznog aerodroma do PNR i vrijeme od PNR do odlaznog aerodroma će biti jednako samo u uvjetima bez vjetera. Ukoliko postoji bilo kakva komponenta vjetera, vremena će se razlikovati. U svakom slučaju, zbroj tih vremena će biti jednak sigurnoj istrajnosti leta.

Prema poznatom izrazu za udaljenost:

$$D = T \times v \quad [3.1]$$

i uz pretpostavku prema definiciji da je:

$$D_{A-PNR} = D_{PNR-A} \quad [3.2]$$

gdje je:

- $D_{A-PNR}$  = Udaljenost od A do PNR
- $D_{PNR-A}$  = Udaljenost od PNR do A,

izraz za vrijeme do PNR je:

- $E_S$  = Sigurna istrajnost leta
- $T_{PNR}$  = Vrijeme do PNR
- $E_S - T_{PNR}$  = Vrijeme od PNR
- $O_{PNR}$  = Putna brzina do PNR
- $H_{PNR}$  = Putna brzina od PNR.

$$T_{PNR} \times O_{PNR} = (E_S - T_{PNR}) \times H_{PNR}$$

$$T_{PNR} \times O_{PNR} = E_S \times H_{PNR} - T_{PNR} \times H_{PNR}$$

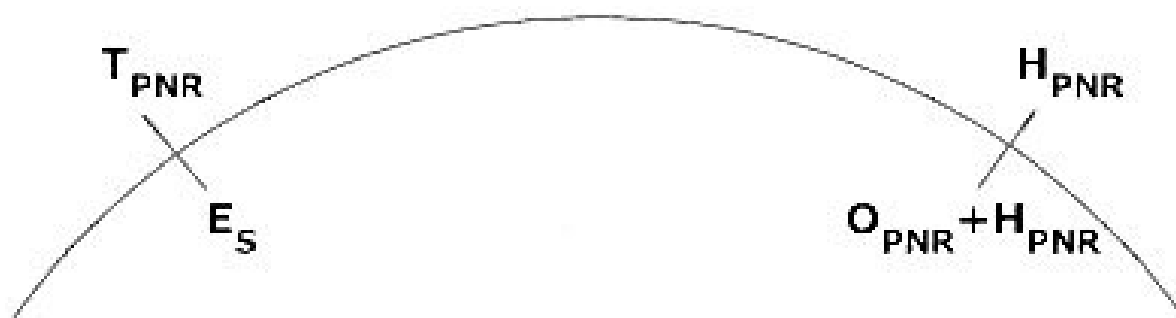
$$T_{PNR} \times O_{PNR} + T_{PNR} \times H_{PNR} = E_S \times H_{PNR}$$

$$T_{PNR} \times (O_{PNR} + H_{PNR}) = E_S \times H_{PNR}$$

$$T_{PNR} = \frac{E_S \times H_{PNR}}{O_{PNR} + H_{PNR}} \quad [3.3]$$



Proračun vremena do PNR može se napraviti i korištenjem Navigacijskog računala E6-B (engl. Flight Computer). Navigacijsko računalo je vrsta kružnog logaritamskog računala (analognog), pomoću kojeg se u vrlo kratkom vremenu i bez računanja mogu dobiti podaci poput putne brzine, kuta zanošenja, potrošnje goriva, vremena i sl. Potrebno je poravnati  $H_{PNR}$  na vanjskom rubu sa  $O_{PNR}+H_{PNR}$  na unutarnjem rubu. Tada se na vanjskom rubu očitava  $T_{PNR}$  koji je poravnat s  $E_S$  na unutarnjem rubu. Grafički prikaz metode proračuna PNR pomoću navigacijskog računala prikazan je na Slici 3.2.



Slika 3.2 Metoda proračuna PNR i odnosi veličina na Navigacijskom računalu E6-B

PRIMJER 3.1. – Proračun vremena do PNR pomoću Navigacijskog računala E6-B.

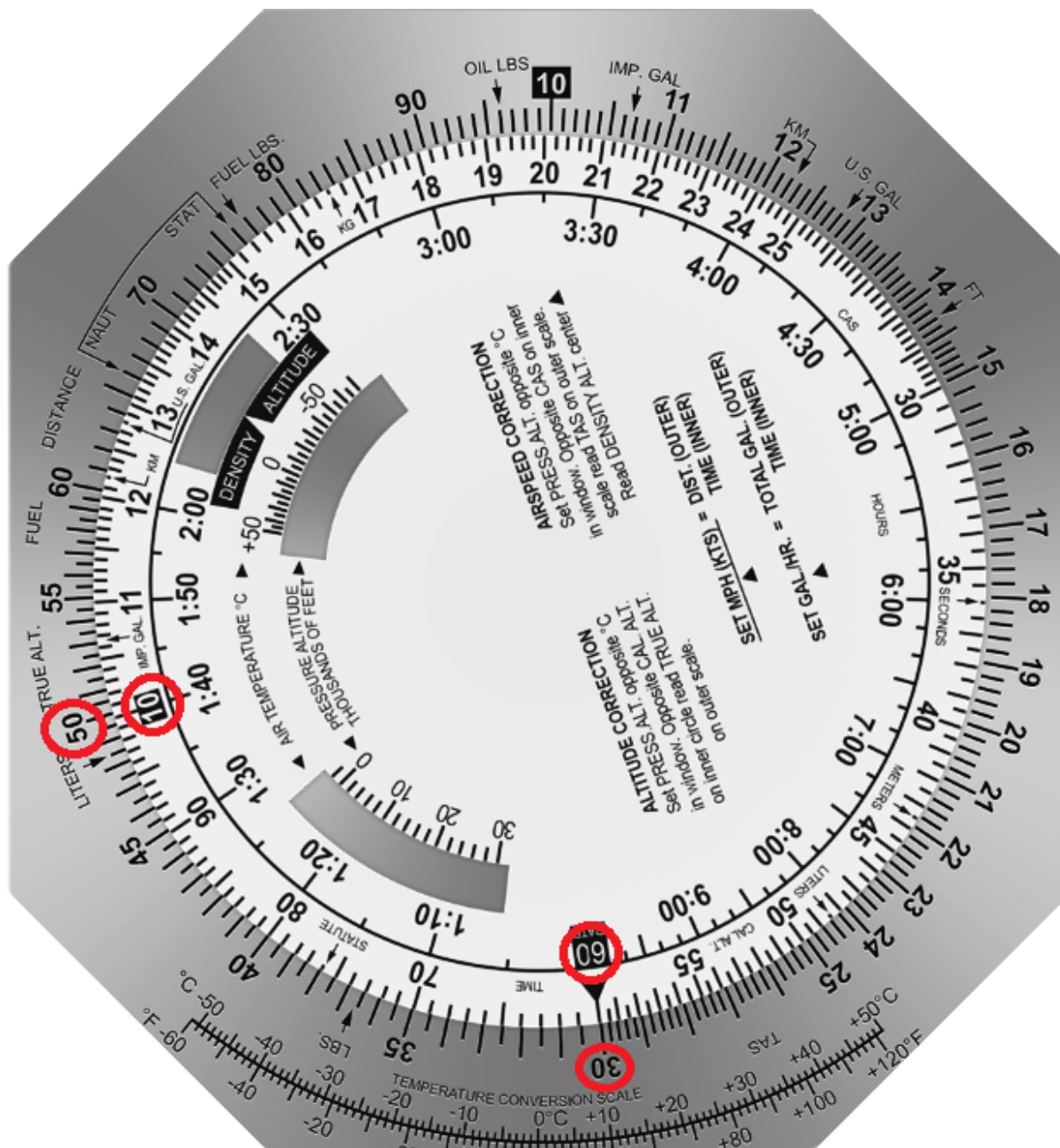
Podaci:

- $E_S = 10$  h
- $H_{PNR} = 300$  kn
- $O_{PNR} = 300$  kn.

Postupak proračuna je sljedeći:

1. Poravnati putnu brzinu od PNR (30) na vanjskom rubu i zbroj putne brzine prema PNR i putne brzine od PNR (60) na unutarnjem rubu.
2. Pronaći sigurnu istrajnost leta (10) na unutarnjem rubu i očitati iznos vremena do PNR na vanjskom rubu.

Rezultat: Očitana vrijednost je  $\sim 5$  h, a računanjem se dobije 5 h. Grafički prikaz proračuna Primjera 3.1. nalazi se na Slici 3.3.



Slika 3.3 Proračun vremena do PNR pomoću Navigacijskog računala E6-B

### 3.1. Utjecaj vjetra na proračun Točke sigurnog povratka

Prema izrazu za vrijeme do PNR vidi se da ono ovisi o putnoj brzini leta zrakoplova (engl. Ground Speed ili GS). Putna brzina leta zrakoplova je stvarna brzina leta zrakoplova (engl. True Air Speed ili TAS) uvećana ili umanjena za komponentu brzine vjetra u odnosu na uzdužnu os zrakoplova (engl. Track Wind Component ili TWC). Komponenta brzine vjetra u odnosu na uzdužnu os zrakoplova ubrzava zrakoplov ako se radi o leđnoj komponenti vjetra (engl. Tail Wind Component), a usporava ga ako se radi o čeonj komponenti vjetra (engl. Head Wind Component).

$$w = v \pm u_{uzd} \quad [3.4]$$

Komponenta brzine vjetra u odnosu na uzdužnu os zrakoplova računa se poznavajući podatke o brzini vjetra (engl. Wind Speed ili WS) i upadnom kutu vjetra (engl. Relative Wind Angle ili RWA) prema izrazu:

$$u_{uzd} = u \times \cos(\beta) \quad [3.5]$$

Upadni kut vjetra je kut koji vektor vjetra zatvara s bližim pravcem uzdužne osi zrakoplova, pa je stoga najveći mogući upadni kut vjetra  $90^\circ$ .

Za prikaz utjecaja vjetra na proračun PNR prikazane su tri situacije: bez vjetra, sa 50 kn čeonj komponente vjetra i 50 kn leđne komponente vjetra. Ostali podaci:  $E_S = 10$  h,  $TAS = 300$  kn.

- Bez vjetra

$$T_{PNR} = \frac{E_S \times H_{PNR}}{O_{PNR} + H_{PNR}} = \frac{10 \times 300}{300 + 300} = 5 \text{ h}$$

$$D_{PNR} = T_{PNR} \times O_{PNR} = 5 \times 300 = 1\,500 \text{ NM}$$

- 50 kn čeone komponente vjetra

$$T_{PNR} = \frac{E_S \times H_{PNR}}{O_{PNR} + H_{PNR}} = \frac{10 \times 350}{250 + 350} = 5,83 \text{ h}$$

$$D_{PNR} = T_{PNR} \times O_{PNR} = 5,83 \times 250 = 1\,458 \text{ NM}$$

- 50 kn leđne komponente vjetra.

$$T_{PNR} = \frac{E_S \times H_{PNR}}{O_{PNR} + H_{PNR}} = \frac{10 \times 250}{350 + 250} = 4,17 \text{ h}$$

$$D_{PNR} = T_{PNR} \times O_{PNR} = 4,17 \times 350 = 1\,460 \text{ NM}$$

Prema proračunima zaključci su:

- Kada nema vjetra udaljenost do PNR je najveća.
- Bilo kakva komponenta brzine vjetra u odnosu na uzdužnu os zrakoplova smanjuje udaljenost do PNR.
- Udaljenost do PNR za slučaj pozitivne i negativne komponente brzine vjetra u odnosu na uzdužnu os zrakoplova je ista ako je jačina vjetra u oba slučaja jednaka.
- Što je jača komponenta brzine vjetra u odnosu na uzdužnu os zrakoplova, to je više smanjena udaljenost do PNR.

### PRIMJER 3.2.

Zrakoplov leti prema dolaznom aerodromu brzinom  $TAS = 220 \text{ kn}$  s komponentom brzine vjetra u odnosu na uzdužnu os zrakoplova  $TWC = +45 \text{ kn}$ . Ukupna istrajnost leta je 7 h 40 min, a sigurna istrajnost leta je 6 h. Potrebno je izračunati vrijeme i udaljenost do PNR?

Prema izrazu 3.4 putne brzine prema i od PNR iznose  $O_{PNR} = 265 \text{ kn}$  i  $H_{PNR} = 175 \text{ kt}$ . Prema izrazu 3.3 vrijeme do PNR iznosi 2 h 23 min, odnosno 143 min. Prema izrazu 3.1 udaljenost do PNR iznosi 632 NM.

### 3.2. Proračun Točke sigurnog povratka za let u više etapa

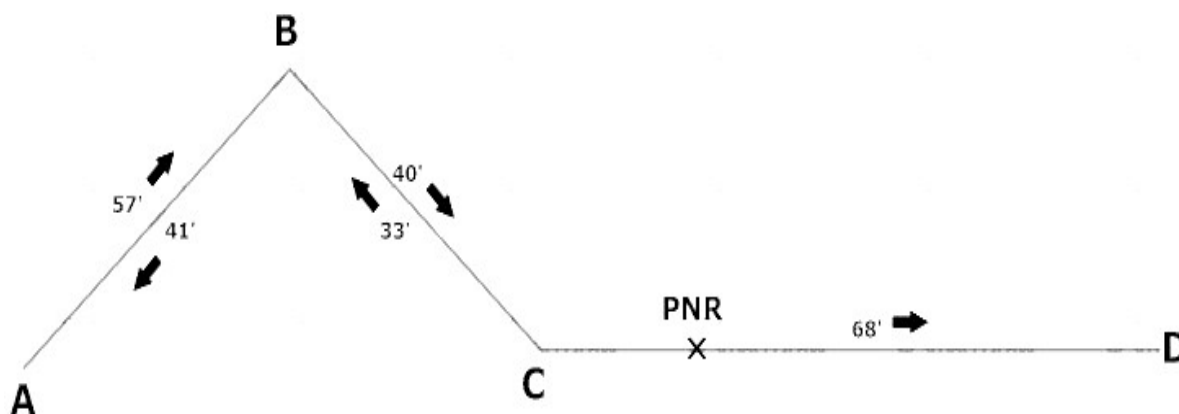
U slučaju rute leta u više etapa, PNR se računa tako da se izračunaju potrebna vremena za svaku etapu i povratak po istoj. Potrebna vremena za svaku etapu i povratak po istoj se međusobno zbrajaju i uspoređuju sa sigurnom istrajnosti leta zrakoplova. Etapa na kojoj se nalazi PNR je ona čije vrijeme pri zbrajanju premaši vrijeme sigurne istrajnosti leta. Točno vrijeme do PNR se dobije tako da se od iznosa vremena sigurne istrajnosti leta oduzmu vremena etapa i povratka po etapama, ne uključujući etapu na kojoj se nalazi PNR i etape poslije nje. Točna pozicija PNR se zatim dobije iz poznatih vremena i poznate putne brzine.

Za lakše razumijevanje izračuna slijedi primjer.

- $E_S = 3 \text{ h } 30 \text{ min } (210 \text{ min})$
- $T_{A-B} = 57 \text{ min}$
- $T_{B-A} = 41 \text{ min}$
- $T_{B-C} = 40 \text{ min}$
- $T_{C-B} = 33 \text{ min}$
- $T_{C-D} = 68 \text{ min.}$

$$T_{A-B} + T_{B-A} + T_{B-C} + T_{C-B} = 57 + 41 + 40 + 33 = 171 \text{ min}$$

$$T_{C-PNR} = 210 - 171 = 39 \text{ min}$$



Slika 3.4 Prikaz pozicije Točke sigurnog povratka za let u više etapa

## PRIMJER 3.3.

Potrebno je izračunati vrijeme i udaljenost do PNR. Podaci za izračun nalaze se u Tablici 3.1.

Tablica 3.1 Podaci za izračun Primjera 3.3.

ETAPA	UDALJENOST [NM]	TAS [kn]	UZDUŽNA KOMPONENTA VJETRA [kn]	SIGURNA ISTRAJNOST [h]
A – B	520	200	-20	6,17
B – C	480	200	+6	

Prema izrazu 3.4 putne brzine između A i B i obrnuto iznose  $GS_{AB} = 180$  kn i  $GS_{BA} = 220$  kn. Prema izrazu 3.1 potrebna vremena za let između A i B i obrnuto su  $T_{AB} = 173$  min i  $T_{BA} = 142$  min. Zbroj tih vremena iznosi 315 min i razlika između sigurne istrajnosti leta i tog vremena je 55 min. Taj iznos podijeljen na pola iznosi 27 min. Vrijeme do PNR je zbroj vremena od A do B i ostatka od 27 min i iznosi 200 min. Prema izrazu 3.4 putna brzina između B i C iznosi  $GS_{BC} = 206$  kn. Sa tom brzinom zrakoplov će prema izrazu 3.1 za 27 min prijeći udaljenost od 93 NM. Udaljenost do PNR je zbroj udaljenosti između A i B i između B i PNR i iznosi 613 NM.

### 3.3. Izvod izraza za Točku sigurnog povratka pri promjenjivoj potrošnji goriva

U prethodnim primjerima sigurna istrajnost leta izražena je u satima i minutama. Ako se sigurna istrajnost leta izrazi kao količina goriva, tada u obzir treba uzeti potrošnju goriva na svakoj pojedinoj etapi leta. Potrošnja goriva ovisi o visini leta, temperaturi zraka, te postavkama motora.

U tom slučaju izraz glasi:

- $D_{PNR}$  = Udaljenost do PNR
- $F$  = Dostupno gorivo (bez rezerve) za proračun PNR
- $CO$  = Potrošnja goriva do PNR [kg/NM]
- $CH$  = Potrošnja goriva od PNR [kg/NM].

$$F = F_{A-PNR} + F_{PNR-A}$$

$$D_{PNR} \times CO + D_{PNR} \times CH = F$$

$$D_{PNR} \times (CO + CH) = F$$

$$D_{PNR} = \frac{F}{CO + CH} \quad [3.6]$$

#### PRIMJER 3.4.

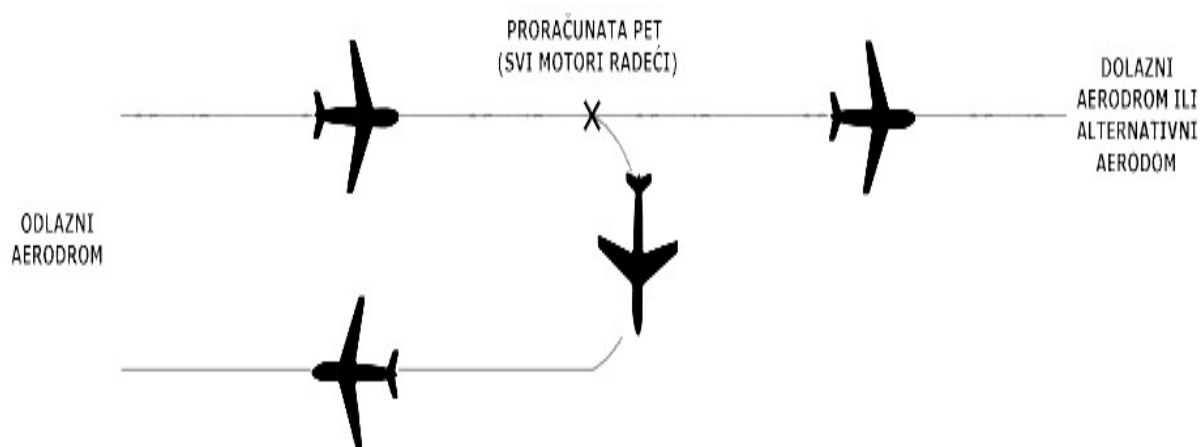
Potrebno je izračunati vrijeme i udaljenost do PNR.

- $TAS = 310$  kn
- $TWC = +30$  kn
- $F = 39\,500$  kg
- $CO = 6\,250$  kg/h
- $CH = 5\,300$  kg/h.

Ukupna istrajnost leta iznosi 6 h 50 min, odnosno 410 min i jednaka je količniku ukupne količine goriva i srednje potrošnje goriva koja iznosi 5 775 kg/h. Prema izrazu 3.4 putne brzine između A i B i obrnuto iznose  $O_{PNR} = 340$  kn i  $H_{PNR} = 280$  kn. Prema izrazu 3.3 vrijeme do PNR iznosi 3 h 5 min, odnosno 185 min. Prema izrazu 3.1 udaljenost do PNR iznosi 1 047 NM.

## 4. Metodologija proračuna Točke jednakog vremena

Točka jednakog vremena (engl. Point of Equal Time/Critical Point ili PET) je točka na planiranoj ruti leta sa koje je vrijeme potrebno za let do dva prikladna aerodroma jednako. Ti aerodromi mogu biti odlazni i dolazni aerodrom ili bilo koja druga dva aerodroma koji se nalaze u blizini planirane rute leta. Grafički prikaz pozicije PET prikazan je na slici 4.1.



Slika 4.1 Prikaz pozicije točke jednakog vremena

Poznavanje PET omogućuje pilotu da donese brzu odluku koji od dva alternativna aerodroma je vremenski bliži u slučaju kvara na motoru ili kvara nekog drugog bitnog sustava, kao i u slučaju ozbiljnih medicinskih problema u zrakoplovu. Planirano gorivo za let (gorivo za put, gorivo za nepredviđene situacije, gorivo za let u krugu čekanja i gorivo za let do alternativnog aerodroma) uvijek će biti dovoljno za let od PET do bilo kojeg izabranog aerodroma. Vrijeme za let od PET do odlaznog aerodroma i vrijeme za let od PET do dolaznog aerodroma će se razlikovati u slučaju jednakih udaljenosti, osim u slučaju bez vjetra, kada će vremena biti jednaka.

Proračun PET je preporučljiv između odlaznog i dolaznog aerodroma, i adekvatnih aerodroma uzduž rute leta ukoliko planirana ruta leta prolazi iznad oceana i zabačenih dijelova svijeta, gdje u slučaju izvanredne situacije postoji nedostatak adekvatnih aerodroma koji se nalaze na prihvatljivoj udaljenosti od planirane rute leta.



Na primjer, propisana je najveća udaljenost adekvatnog alternativnog aerodroma od planirane rute leta za dvomotorne zrakoplove. Udaljenost je jednaka jednom satu leta u mirnom zraku sa brzinom krstarenja na jednom motoru. Za sve operacije koje premašuju navedeno ograničenje potrebno je posebno odobrenje za Produljen dolet dvomotornih zrakoplova (engl. Extended Range Twin Operations). Prilikom planiranja leta sa zrakoplovnima sa ETOPS odobrenjem obavezan je proračun PET.

Prema poznatom izrazu za vrijeme:

$$T = \frac{D}{v} \quad [4.1]$$

i uz pretpostavku prema definiciji da je:

$$T_{PET-A} = T_{PET-B} \quad [4.2]$$

gdje je:

- $T_{PET-A}$  = Vrijeme od PET do A
- $T_{PET-B}$  = Vrijeme od PET do B,

izraz za udaljenost do PET je:

- $D_T$  = Ukupna udaljenost
- $X_{PET}$  = Udaljenost do PET
- $D_T - X_{PET}$  = Udaljenost od PET
- $H_{PET}$  = Putna brzina od PET do odlaznog aerodroma
- $O_{PET}$  = Putna brzina od PET do dolaznog aerodroma.

$$\frac{X_{PET}}{H_{PET}} = \frac{D_T - X_{PET}}{O_{PET}}$$

$$X_{PET} \times O_{PET} = H_{PET} \times (D_T - X_{PET})$$

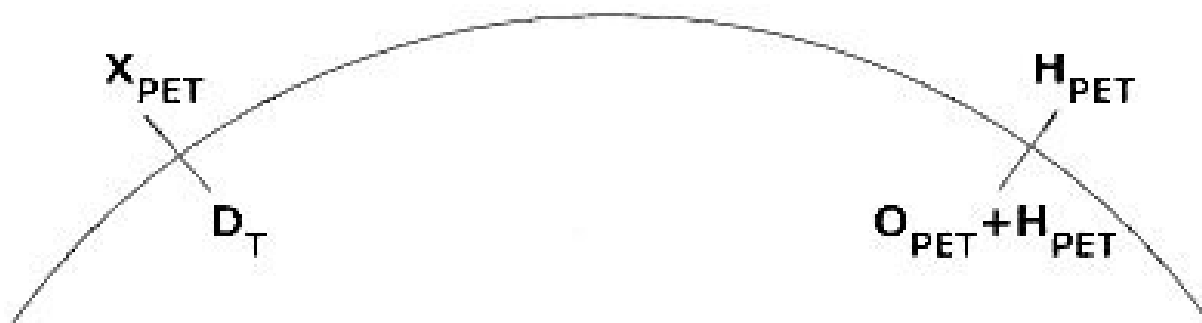
$$X_{PET} \times O_{PET} = H_{PET} \times D_T - H_{PET} \times X_{PET}$$

$$X_{PET} \times O_{PET} + X_{PET} \times H_{PET} = H_{PET} \times D_T$$

$$X_{PET} \times (O_{PET} + H_{PET}) = H_{PET} \times D_T$$

$$X_{PET} = \frac{D_T \times H_{PET}}{O_{PET} + H_{PET}} \quad [4.3]$$

Proračun udaljenosti do PET može se, kao i proračun vremena do PNR napraviti korištenjem Navigacijskog računala E6-B (engl. Flight Computer). Potrebno je poravnati  $H_{PET}$  na vanjskom rubu sa  $O_{PET}+H_{PET}$  na unutarnjem rubu. Tada se na vanjskom rubu očitava  $X_{PET}$  koji je poravnat s  $D_T$  na unutarnjem rubu. Grafički prikaz metode proračuna PET pomoću navigacijskog računala prikazan je na Slici 4.2.



Slika 4.2 Metoda proračuna PET i odnosi veličina na Navigacijskom računalu E6-B

PRIMJER 4.1. – Proračun udaljenosti do PET pomoću navigacijskog računala E6-B.

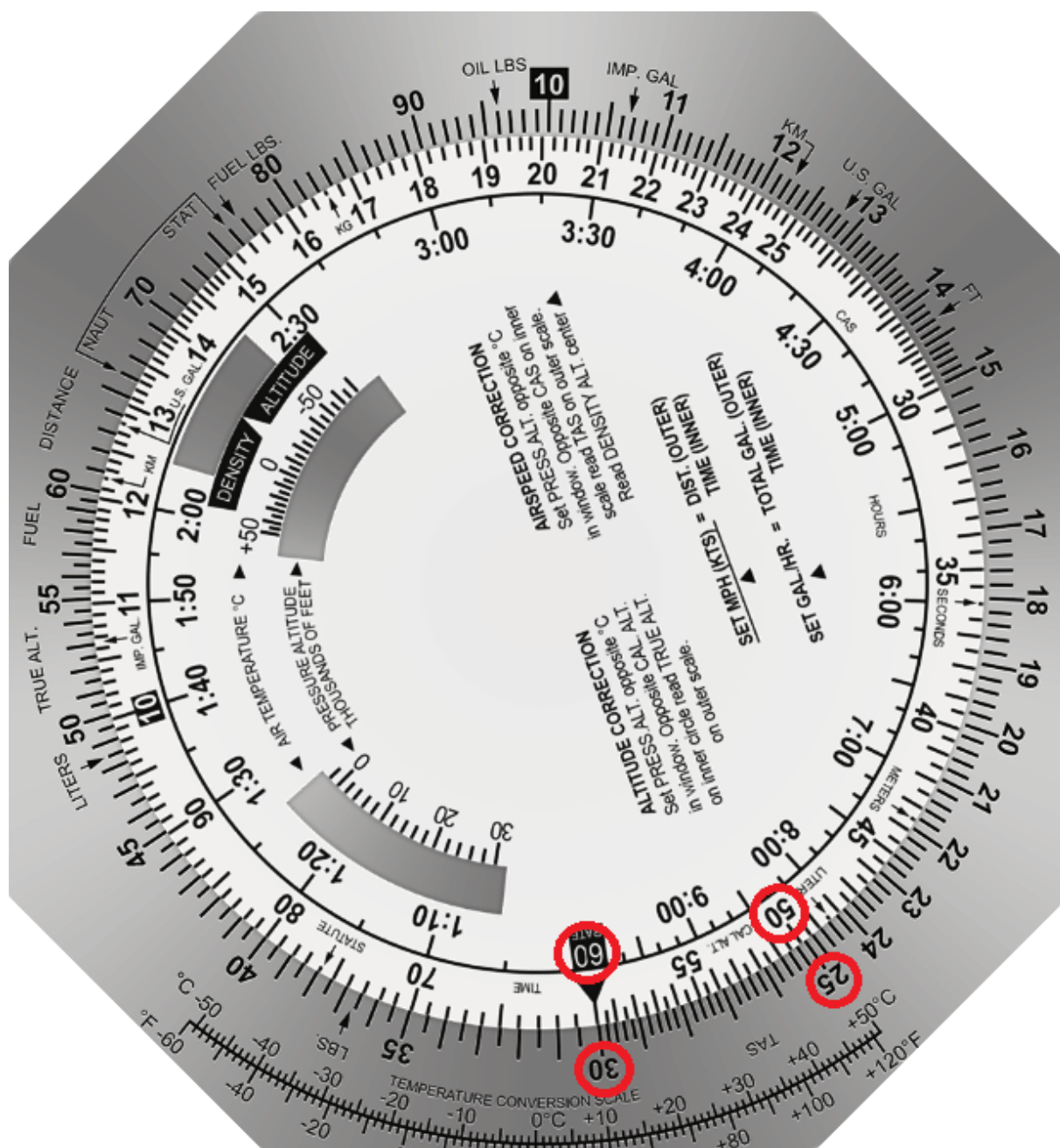
Podaci:

- $D_T = 500$  NM
- $H_{PET} = 300$  kn
- $O_{PET} = 300$  kn.

Postupak proračuna je sljedeći:

1. Poravnati putnu brzinu od PET (30) na vanjskom rubu i zbroj putne brzine prema PET i putne brzine od PET (60) na unutarnjem rubu.
2. Pronaći ukupnu udaljenost (50) na unutarnjem rubu i očitati udaljenost do PET na vanjskom rubu.

Rezultat: Očitana vrijednost je ~2,5 h, a računanjem se dobije 2,5 h. Grafički prikaz proračuna Primjera 4.1. nalazi se na Slici 4.3.



Slika 4.3 Proračun udaljenosti do PET pomoću Navigacijskog računala E6-B

#### 4.1. Utjecaj vjetra na proračun Točke jednakog vremena

Pojmovi i veličine potrebni za prikaz utjecaja vjetra na proračun PET isti su kao i za proračun PRN, te su opisani u poglavlju 3.1. Utjecaj vjetra na proračun Točke sigurnog povratka.

Za prikaz utjecaja vjetra na proračun PET prikazane su tri situacije: bez vjetra, sa 60 kn čeone komponente vjetra i 60 kn leđne komponente vjetra. Ostali podaci:  $D_T = 500 \text{ NM}$ ,  $TAS = 300 \text{ kn}$ .

- Bez vjetra

$$X_{PET} = \frac{D_T \times H_{PET}}{O_{PET} + H_{PET}} = \frac{500 \times 300}{300 + 300} = 250 \text{ NM}$$

- 60 kn čeone komponente vjetra

$$X_{PET} = \frac{D_T \times H_{PET}}{O_{PET} + H_{PET}} = \frac{500 \times 360}{240 + 360} = 300 \text{ NM}$$

- 60 kn leđne komponente vjetra

$$X_{PET} = \frac{D_T \times H_{PET}}{O_{PET} + H_{PET}} = \frac{500 \times 240}{360 + 240} = 200 \text{ NM}$$

Prema proračunima zaključci su:

- a) U uvjetima bez vjetra PET se nalazi na sredini planirane rute leta.
- b) Ako postoji komponenta brzine vjetra u odnosu na uzdužnu os zrakoplova, PET se pomiče prema pravcu vjetra.
- c) Što je komponenta brzine vjetra u odnosu na uzdužnu os zrakoplova jača, to je pomak PET prema pravcu vjetra veći.

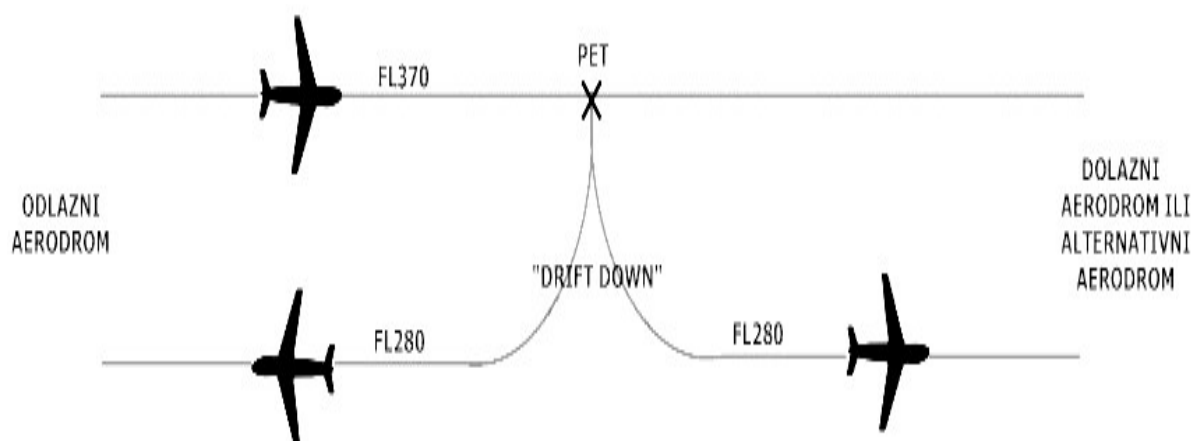
## PRIMJER 4.2.

Potrebno je izračunati udaljenost i vrijeme do PET?

- $D_T = 1\,400\text{ NM}$
- $H_{PET} = 310\text{ kn}$
- $O_{PET} = 230\text{ kn}$

Prema izrazu 4.3 udaljenost do PET iznosi 804 NM. Prema izrazu 4.1 vrijeme do PET iznosi 3 h i 30 min, odnosno 210 min.

U slučaju otkaza motora uglavnom dolazi do potrebe za *Drift down* procedurom, kako bi zrakoplov došao na optimalnu visinu za let s jednim motorom i kako bi nastavio let prema dolaznom aerodromu ili se vratio na odlazni aerodrom. Ako se kvar motora dogodio prije PET, pilot će vratiti zrakoplov na odlazni aerodrom, a ukoliko se kvar motora dogodio nakon PET, pilot će nastaviti let prema dolaznom aerodromu. Let sa jednim radećim motorom zahtijeva manju stvarnu brzinu leta (TAS), a ovisno o brzini i smjeru vjetra mijenja se i putna brzina (GS). U slučaju da se kvar motora dogodi na PET, pilot može izabrati da li će se vratiti na odlazni aerodrom ili će nastaviti let prema dolaznom aerodromu. Grafički prikaz *Drift down* procedure prilikom otkaza motora prikazan je na Slici 4.4.



Slika 4.4 *Drift down* procedura

## PRIMJER 4.3.

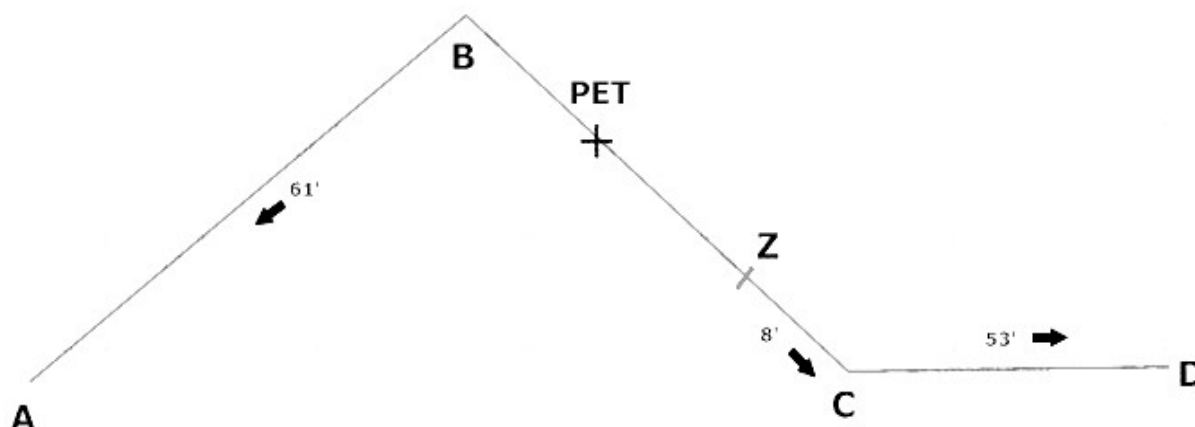
Potrebno je izračunati udaljenost i vrijeme do PET?

- TAS (svi motori rade) = 475 kn
- TAS (samo jedan motor radi) = 380 kn
- $D_T = 2\ 050\ \text{NM}$

Prema izrazu 4.3 udaljenost do PET iznosi 911 NM. Prema izrazu 4.1 vrijeme do PET iznosi 1 h i 55 min, odnosno 115 min. Moguće je provjeriti da li je zadovoljen izraz 4.2. Prema izrazu 4.1  $T_{\text{PET-A}}$  jednako je  $T_{\text{PET-B}}$  i iznosi 2 h i 23 min, odnosno 143 min.

## 4.2. Proračun Točke jednakog vremena za let u više etapa

Planirana ruta leta može se sastojati od dvije ili više etapa, različitih duljina i smjerova. U tom slučaju potrebno je uzeti u obzir svaku etapu zasebno. Treba izračunati potrebno vrijeme za let po prvoj etapi u povratnom smjeru i potrebno vrijeme za let po posljednjoj etapi u odlaznom smjeru. Razliku tih vremena treba dodati na kraće vrijeme i odrediti položaj pomoćne točke Z na srednjoj etapi pomoću poznate putne brzine. PET se nalazi na dijelu srednje etape između Z i početne/završne točke etape za koju je potrebno kraće vrijeme leta. Točan položaj PET dobije se primjenom izraza za proračun udaljenosti do PET samo na etapi na kojem se PET nalazi. Zatim je potrebno zbrojiti dobivenu udaljenost sa prije prijedrenom udaljenošću. Nakon toga, moguće je izračunati i vrijeme do PET.



Slika 4.5 Prikaz pozicije Točke jednakog vremena za let u više etapa

## PRIMJER 4.4.

Koliko iznose udaljenost i vrijeme do PET? Podaci za izračun nalaze se u Tablici 4.1.

Tablica 4.1 Podaci za izračun Primjera 4.4.

ETAPA	UDALJENOST (NM)	TAS (kn)	UZDUŽNA KOMPONENTA VJETRA (kn)
A – B	450	175	-25
B – C	430	175	-15

Prema izrazu 3.4 potrebno je preračunati stvarnu brzinu leta (TAS) u putnu brzinu (GS) poznavajući komponentu brzine vjetra u odnosu na uzdužnu os zrakoplova. Zatim prema izrazu 4.1 treba izračunati potrebna vremena za let po etapi A – B u povratnom smjeru i po etapi B – C u odlaznom smjeru. Ta vremena iznose  $T_{B-A} = 135$  min i  $T_{B-C} = 161$  min. Razlika tih vremena je 26 min. U ovom primjeru ne postoji srednja etapa, pa se PET nalazi na etapi za čiji je prelet potrebno više vremena (B – C). Vrijeme od točke B do PET je polovina razlike vremena (13 min). Prema izrazu 4.1 udaljenost između B i PET je 35 NM. Ukupna udaljenost od početka leta do PET je u tom slučaju zbroj duljine prve etape i udaljenost između B i PET i iznosi 485 NM. Prema izrazu 4.1 potrebno vrijeme za let po etapi A – B u odletnom smjeru je 3 h, odnosno 180 min. Tom vremenu potrebno je dodati vrijeme između B i PET kako bi se dobilo vrijeme do PET od početka leta. To vrijeme je 193 min.

## 5. Proračun Točke sigurnog povratka i Točke jednakog vremena na ruti leta Zagreb – Hamburg

Proračun PNR i PET na ruti leta između Međunarodne zračne luke Zagreb (ICAO oznaka: LDZA) i Zračne luke Hamburg (ICAO oznaka: EDDH) izrađen je na temelju letnih karakteristika i performansi zrakoplova Piper PA-44 Seminole.

Piper PA-44 Seminole je laki dvomotorni klipni zrakoplov kategorije MEP1. Proizvodi ga američka tvornica Piper Aircraft od 1979. godine pa sve do danas uz kraće prekide. Prvobitna namjena PA-44 je školovanje, ali koristi se i kao zrakoplov za privatni prijevoz, te za prijevoz manjeg broja putnika (1 – 3) na kraćim relacijama. Na Slici 5.1 prikazan je zrakoplov PA-44.

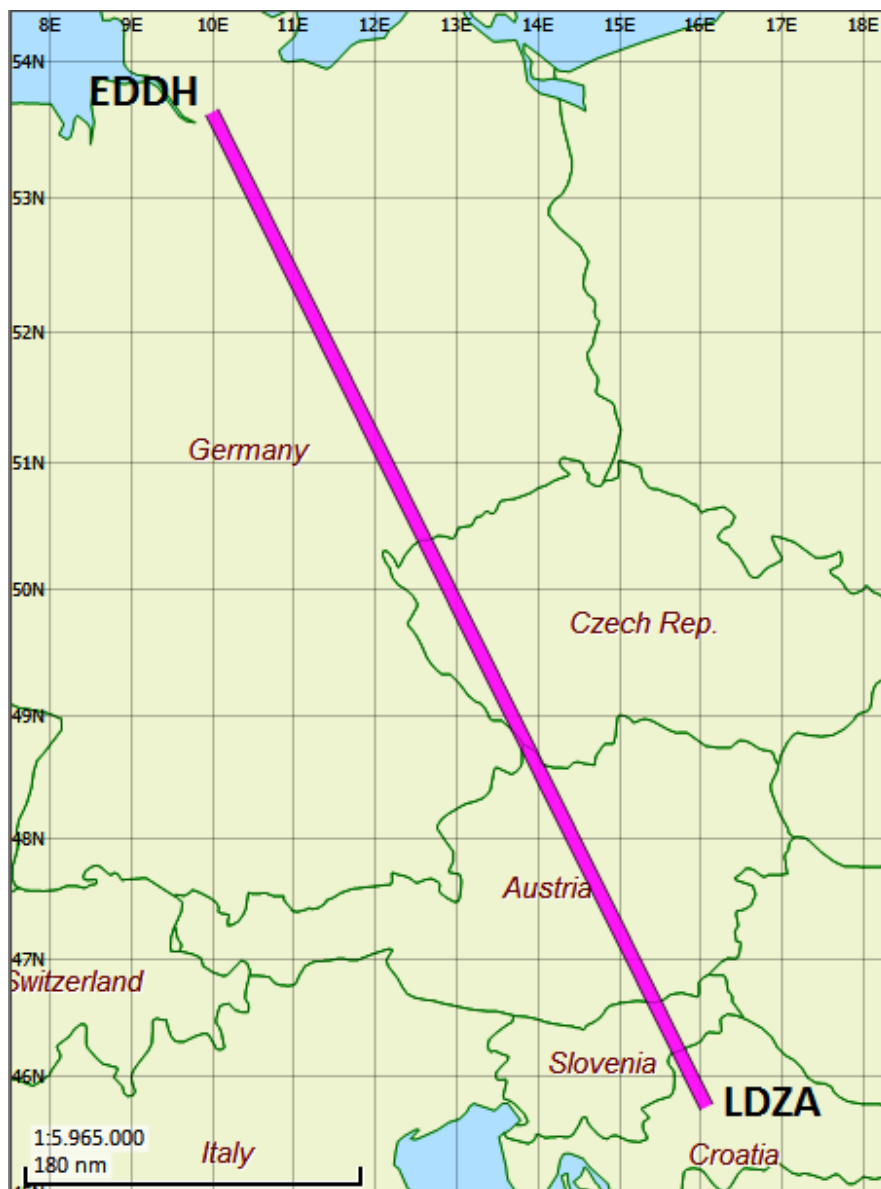


Slika 5.1 Piper PA-44 Seminole

PA-44 opremljen je sa dva Lycoming motora. Snaga jednog motora je 134 kW, a radni volumen je 5,9 L. Motori pogone dvokrake Hartzell elise promjenjivog koraka, koje se okreću u suprotnim smjerovima, čime je eliminiran problem kritičnog motora, a to je poželjna karakteristika kod školskih zrakoplova. Kritični motor je motor koji više narušava letne karakteristike zrakoplova u slučaju otkaza. Zrakoplov ima uvlačeci stajni trap tipa tricikl. Najveća količina iskoristivog goriva koja se može nalaziti u PA-44 je 108 US Gal. MTOM i MLM su jednaki i iznose 3 800 lb.



U svrhu pojednostavljenja rute leta, tijekom planiranja nisu poštivane ulazno-izlazne točke između zračnih prostora država kroz koje prolazi ruta leta već je let planiran pravocrtno između LDZA i EDDH kao što je prikazano na Slici 5.2.



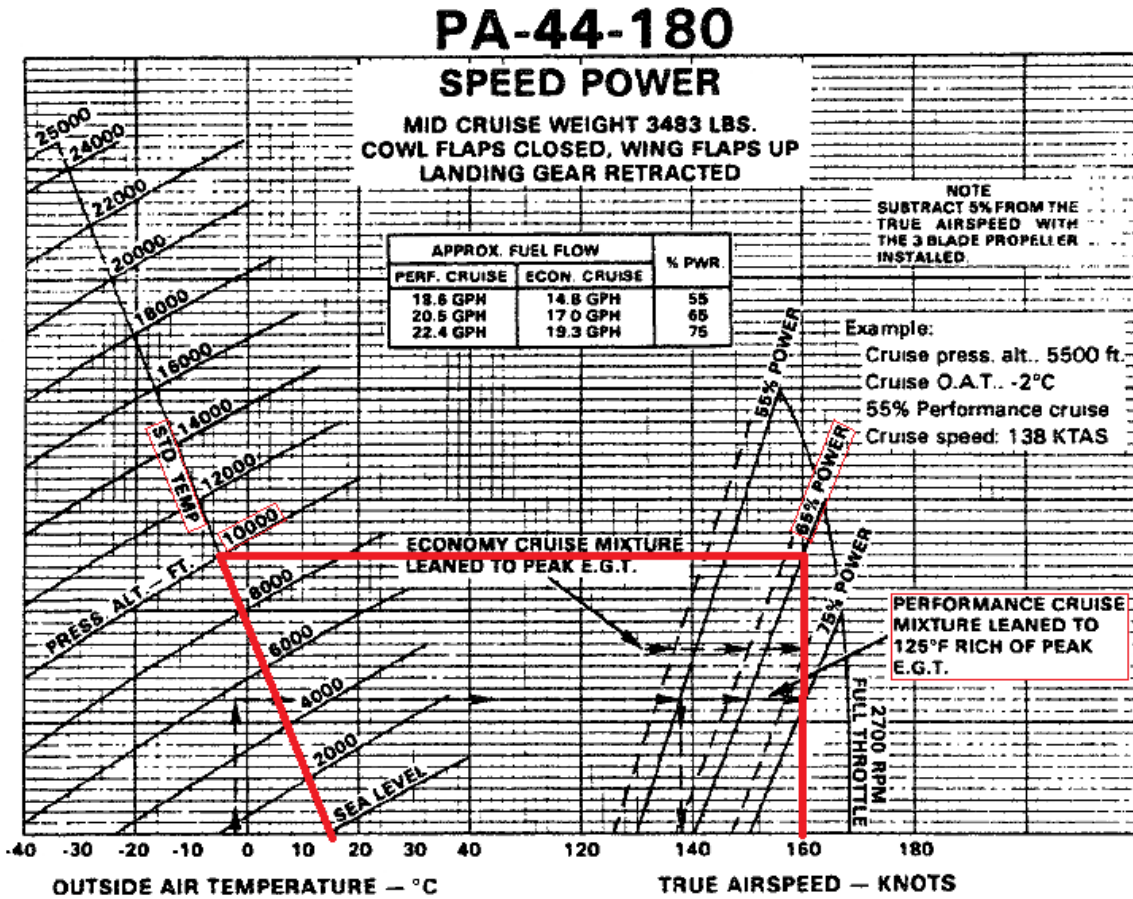
Slika 5.2 Prikaz rute leta LDZA - EDDH u horizontalnoj ravnini

Planirana ruta leta prolazi kroz zračni prostor Hrvatske, Slovenije, Austrije, Češke i Njemačke. U zračnom prostoru Austrije nalaze se najviše prepreke na ruti, te je stoga najniža sigurna visina leta (engl. Minimum Safe Altitude) 8 100 ft. Planirana visina leta je 10 000 ft. U Prilogu 1 prikazana je planirana ruta leta u vertikalnoj ravnini.

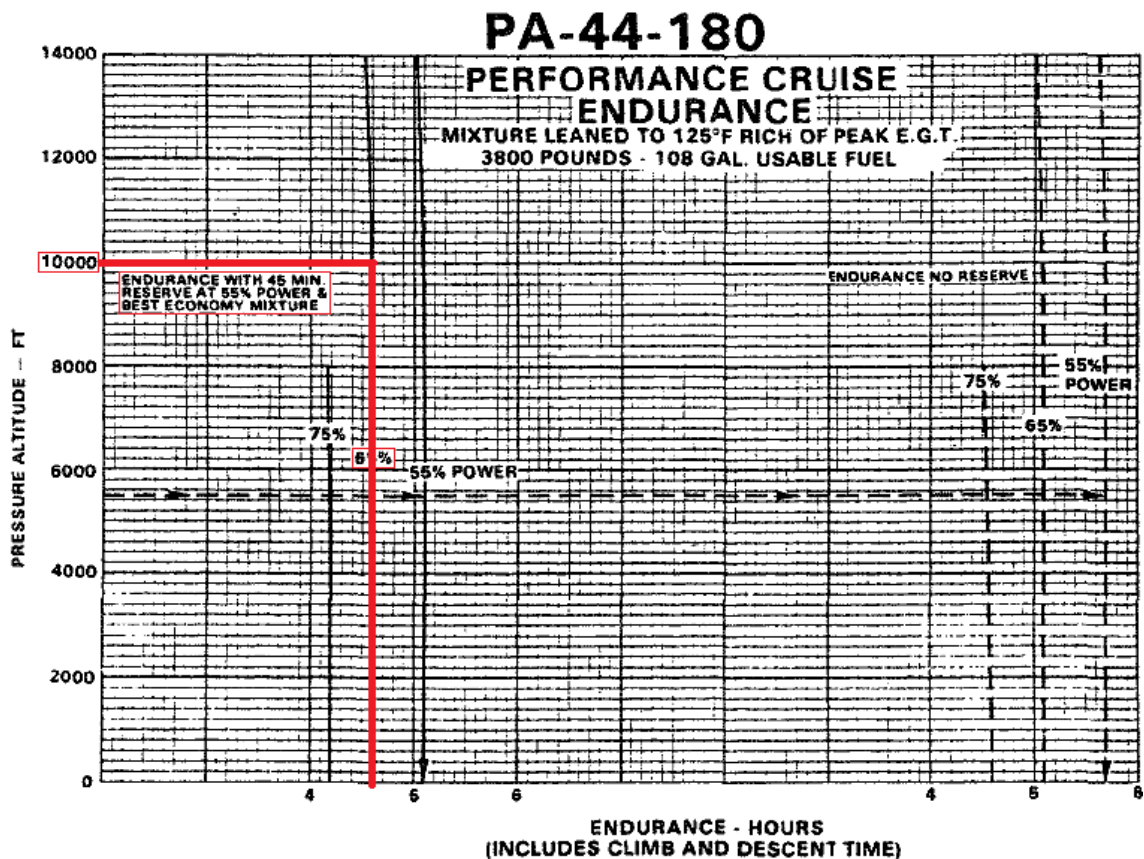
Podaci o planiranoj ruti leta između LDZA i EDDH, te podaci o letnim karakteristikama i performansama zrakoplova PA-44:

- Udaljenost (LDZA – EDDH): 530 NM
- Pravac leta: 330°
- Temperatura zraka: Standardna (ISA)
- Visina leta (oba motora rade): 10 000 ft
- Visina leta (samo jedan motor radi): 8 500 ft
- Pravac/brzina vjetra (10 000 ft): 360°/35 kn
- Pravac/brzina vjetra (8 500 ft): 330°/25 kn
- Postavka snage: 65 %
- Sigurna istrajnost leta: 4,6 h
- TAS (oba motora rade): 160 kn na 10 000 ft
- TAS (samo jedan motor radi): 90 kn na 8 500 ft.

Stvarna brzina leta zrakoplova i istrajnost leta zrakoplova dobiveni su pomoću unaprijed izračunatih dijagrama koji se nalaze u Pilotskom priručniku zrakoplova (engl. Pilot's Operating Handbook) za zrakoplov PA-44 izdanom od strane Piper Aircraft Corporation. Način korištenja dijagrama objašnjen je u poglavlju 2. Definiranje elemenata i način proračuna istrajnosti leta zrakoplova, te su ovdje dani samo grafički prikazi proračuna bez objašnjenja na Slici 5.3 i Slici 5.4. Kako bi se zadržala jednostavnost proračuna pretpostavlja se da je varijacija uzduž rute zanemariva, te da su pravac leta u odnosu na pravi (geografski) sjever i pravac leta u odnosu na magnetski sjever jednaki.



Slika 5.3 Proračun stvarne brzine leta za zrakoplov PA-44



Slika 5.4 Proračun sigurne istrajnosti leta za zrakoplov PA-44

Prema izrazu 3.5 vrijednosti komponente brzine vjetra u odnosu na uzdužnu os zrakoplova su  $-30$  kn smjeru EDDH i  $+30$  kn u smjeru LDZA na visini  $10\,000$  ft, te  $-25$  kn u smjeru EDDH i  $+25$  kn u smjeru LDZA na visini  $8\,500$  ft.

Za proračun udaljenosti i vremena do PNR na ruti leta između LDZA i EDDH potrebni su sljedeći podaci:

- $E_S = 4,6$  h
- $O_{PNR} = 130$  kn
- $H_{PNR} = 190$  kn.

Vrijednosti  $H_{PNR}$  i  $O_{PNR}$  dobivene su pomoću izraza 3.4.

Potrebno vrijeme do PNR je:

$$T_{PNR} = \frac{E_S \times H_{PNR}}{O_{PNR} + H_{PNR}} = \frac{4,6 \times 190}{130 + 190} = 2,73 \text{ h}$$

Udaljenost do PNR je:

$$D_{PNR} = T_{PNR} \times O_{PNR} = 2,73 \times 130 = 355 \text{ NM}$$

Potrebno vrijeme do PNR je  $2$  h  $44$  min, odnosno  $164$  min. Udaljenost do PNR je  $355$  NM. Točna pozicija PNR je u neposrednoj blizini aerodroma Sprossen, što je prikazano na vertikalnom profilu leta na Slici 5.5. Na karti ucrtane rute leta u Prilogu 4 nije ucrtan aerodrom Sprossen, te se pozicija PNR nalazi otprilike  $25$  NM nakon aerodroma Zwickau.

Za proračun vremena i udaljenosti do PET na ruti leta između LDZA i EDDH potrebi su sljedeći podaci:

- $D_T = 530 \text{ NM}$
- $O_{PET(TE)} = 130 \text{ kn}$
- $H_{PET(TE)} = 190 \text{ kn}$
- $O_{PET(SE)} = 65 \text{ kn}$
- $H_{PET(SE)} = 115 \text{ kn}$

Vrijednosti  $O_{PET(TE)}$ ,  $H_{PET(TE)}$ ,  $O_{PET(SE)}$  i  $H_{PET(SE)}$  dobivene su pomoću izraza 3.4.

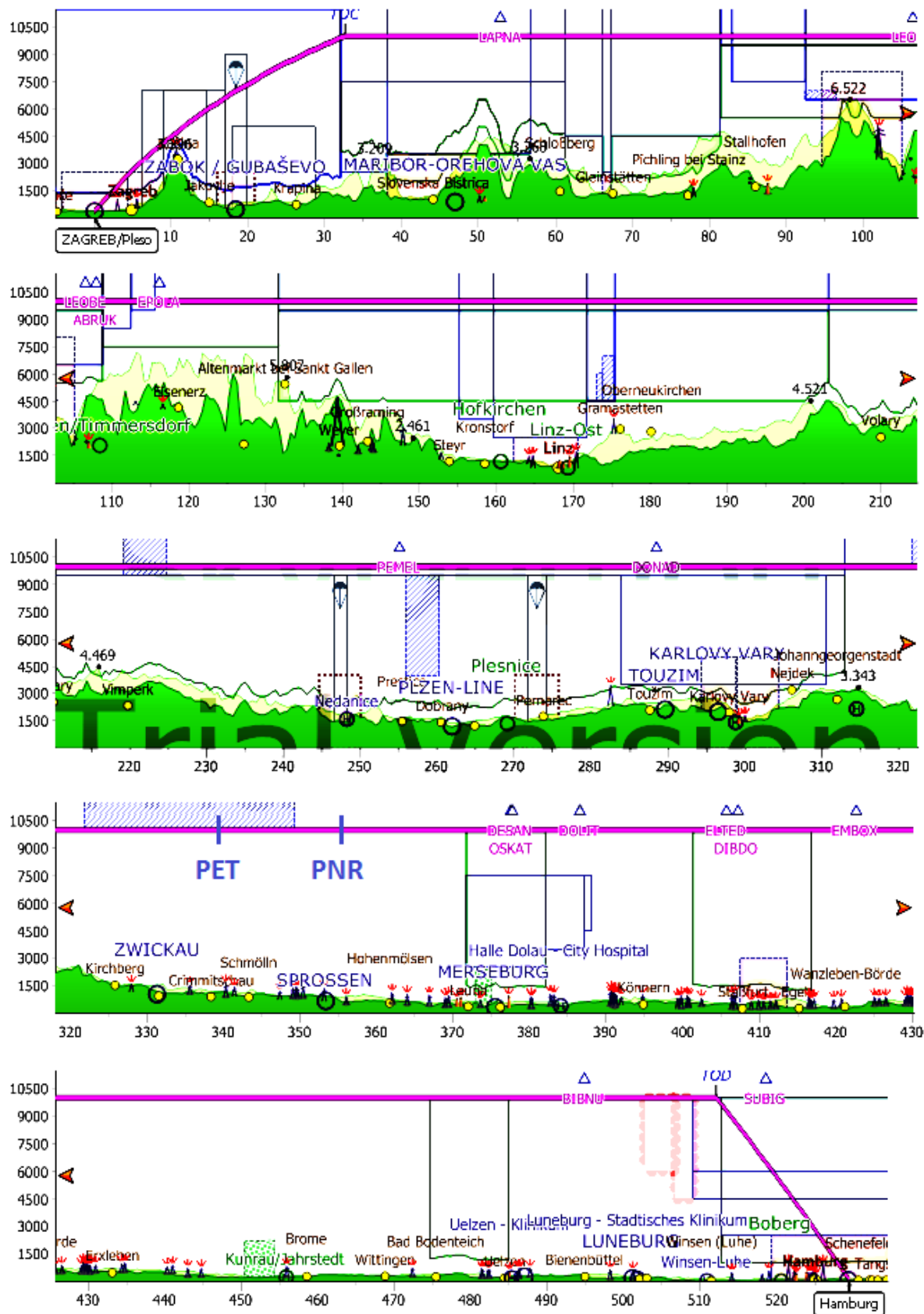
Udaljenost do PET je:

$$X_{PET} = \frac{D_T \times H_{PET(SE)}}{O_{PET(SE)} + H_{PET(SE)}} = \frac{530 \times 115}{65 + 115} = 339 \text{ NM}$$

Potrebno vrijeme do PET je:

$$T_{PET} = \frac{X_{PET}}{O_{PET(TE)}} = \frac{339}{130} = 2,61 \text{ h}$$

Potrebno vrijeme do PET je 2 h 37 min, odnosno 157 min. Udaljenost do PET je 339 NM. Točna pozicija PET je u neposrednoj blizini grada Crimmitschau, što je prikazano na vertikalnom profilu leta na Slici 5.5. Na karti ucrtane rute leta u Prilogu 4 nije ucrtan grad Crimmitschau, te se pozicija PET nalazi otprilike 10 NM nakon aerodroma Zwickau.



Slika 5.5 Detaljniji prikaz rute leta LDZA - EDDH u vertikalnoj ravnini

## 6. Zaključak

U radu su definirane karakteristične točke na ruti leta (PNR i PET) i objašnjena je metodologija proračuna tih točaka. Kroz rad su sva teorijska izlaganja potkrijepljena jednostavnim primjerima. Na kraju rada, jednim konkretnim proračunom za realno moguću rutu leta proračunate su pozicije PNR i PET.

Prilikom izrade tog proračuna uvedena su određena ograničenja kako bi se proračun pojednostavio, pa je tako ruta između LDZA i EDDH u potpunosti pravocrtna, što u stvarnosti nije moguće. Varijacija, te pravac i brzina vjetera uzduž cijele rute leta su nepromjenjivi, što je također vrlo malo moguće. Iz razloga što je vrlo teško pronaći dugu rutu leta (530 NM) na kojoj je MSA manja od 4 000 ft, zanemaren je i podatak za zrakoplov PA-44 u slučaju otkaza motora ne može održavati visinu veću od 3 800 ft. Prilikom proračuna, nisu uvijek korištene mjerne jedinice Međunarodnog sustava mjernih jedinica (SI), jer bi to zahtijevalo učestala preračunavanja. Za iskazivanje količine goriva korišten je američki galon (US Gal), a za iskazivanje mase korištena je funta (lb). Te mjerne jedinice su u skladu s metodologijom proračuna performansi zrakoplova prema standardima Europske agencije za sigurnost zračnog prometa (EASA). Uvedena ograničenja nisu uvelike utjecala na dobivene rezultate.

Proračun karakterističnih točaka na ruti leta vrlo je važan dio planiranja leta jer uvelike pridonosi sigurnijoj i kvalitetnijoj izvedbi leta. Na primjeru rute LDZA – EDDH prikazano je da se PNR i PET nalaze na otprilike 3/5 rute leta. Prema primjeru pilot bi trebao otprilike 1,5 h prije planiranog slijetanja na dolazni aerodrom znati da li će slijetanje biti moguće, kako bi se u slučaju nemogućnosti slijetanja na vrijeme mogao odlučiti za povratak na odlazni aerodrom.

Prema dobivenim rezultatima može se zaključiti kako je proračun PNR i PET za rute leta prema izoliranim aerodromima i aerodromima bez adekvatne alternacije opravdano obavezan. Proračun PNR i PET za ostale rute leta ne može škoditi, ali u slučaju izvanrednih situacija može uvelike olakšati letenje.

## Literatura

- 1) Flight Performance and Planning 2 – JAA ATPL Theoretical Knowledge Manual, Jeppesen GmbH, Frankfurt, Germany.
- 2) Doris Novak: Zrakoplovna računska navigacija, Sveučilište u Zagrebu – Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2012.
- 3) CAP 697 – Flight Planning Manual, Civil Aviation Authority, 2006.
- 4) Piper Seminole PA-44-180 – Pilot's Operating Handbook, Piper Aircraft Corporation – Publication Department, 1978.
- 5) Flight Planning, Nordian, India, 2010.
- 6) Getting to grips with Aircraft Performance, Airbus S.A.S., France, 2002.
- 7) [www.airsafaris.com.au/general\\_info/pnrcp.htm](http://www.airsafaris.com.au/general_info/pnrcp.htm), 20.7.2015.
- 8) [www.aviationexam.com](http://www.aviationexam.com), 5.8.2015.
- 9) [www.piper.com](http://www.piper.com), 15.8.2015.



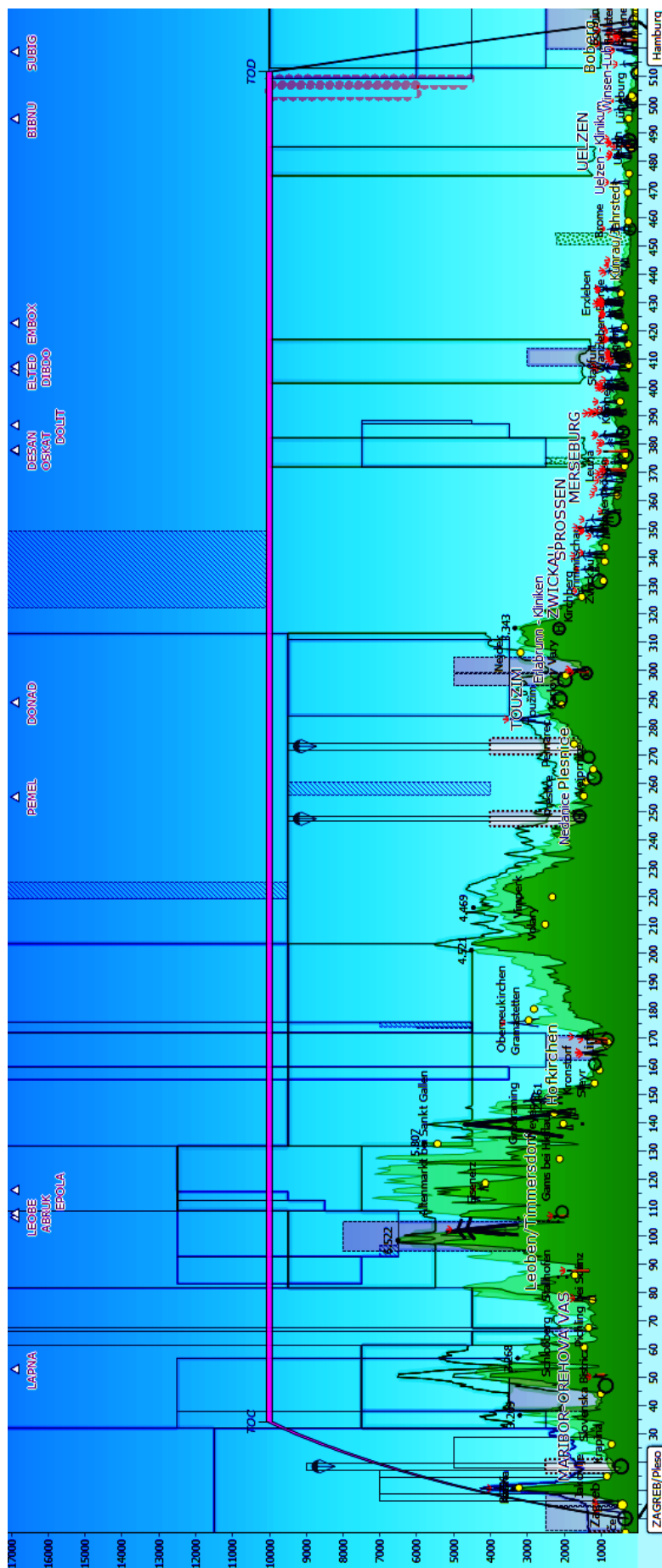
## Popis slika

Slika 2.1 Proračun istrajnosti leta za kategoriju zrakoplova SEP1 .....	5
Slika 2.2 Proračun istrajnosti leta za kategoriju zrakoplova MEP1 .....	7
Slika 3.1 Prikaz pozicije Točke sigurnog povratka .....	8
Slika 3.2 Metoda proračuna PNR i odnosi veličina na Navigacijskom računalu E6-B10	
Slika 3.3 Proračun vremena do PNR pomoću Navigacijskog računala E6-B.....	11
Slika 3.4 Prikaz pozicije Točke sigurnog povratka za let u više etapa .....	14
Slika 4.1 Prikaz pozicije točke jednakog vremena .....	17
Slika 4.2 Metoda proračuna PET i odnosi veličina na Navigacijskom računalu E6-B19	
Slika 4.3 Proračun udaljenosti do PET pomoću Navigacijskog računala E6-B.....	20
Slika 4.4 <i>Drift down</i> procedura.....	22
Slika 4.5 Prikaz pozicije Točke jednakog vremena za let u više etapa .....	23
Slika 5.1 Piper PA-44 Seminole.....	25
Slika 5.2 Prikaz rute leta LDZA - EDDH u horizontalnoj ravnini.....	26
Slika 5.3 Proračun stvarne brzine leta za zrakoplov PA-44 .....	28
Slika 5.4 Proračun sigurne istrajnosti leta za zrakoplov PA-44.....	28
Slika 5.5 Detaljniji prikaz rute leta LDZA - EDDH u vertikalnoj ravnini .....	31

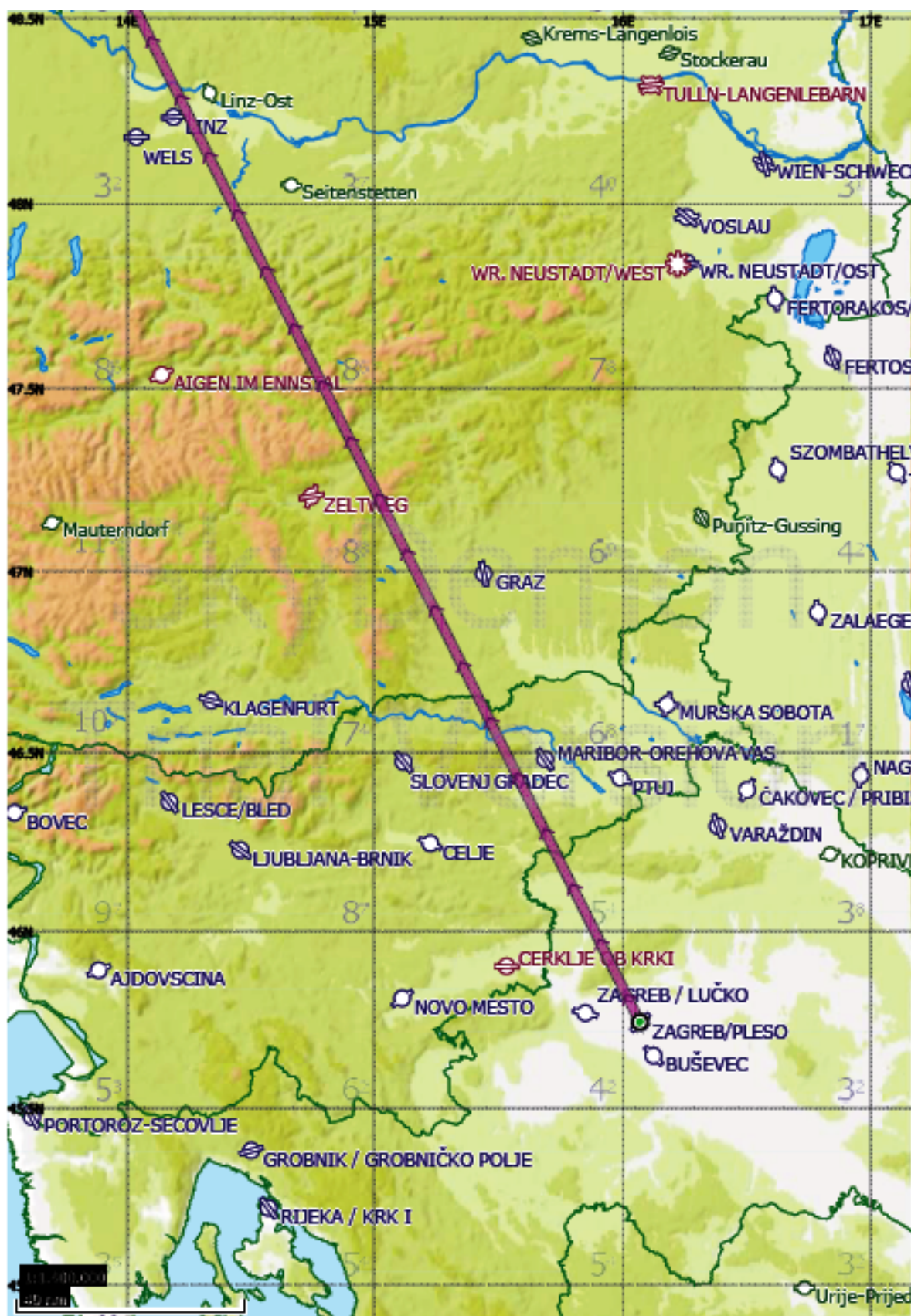
## Popis tablica

Tablica 3.1 Podaci za izračun Primjera 3.3.....	15
Tablica 4.1 Podaci za izračun Primjera 4.4.....	24

## Prilog 1: Prikaz rute leta LDZA – EDDH u vertikalnoj ravnini



## Prilog 2: Karta ucrtane rute leta LDZA – EDDH (1)



## Prilog 3: Karta ucrtane rute leta LDZA – EDDH (2)





## Prilog 5: Karta ucrtane rute leta LDZA – EDDH (4)

