

Navigacijska priprema rute proračunom značajnih putnih točaka

Mikolčić, Dominik

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:988831>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-24**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Dominik Mikolčić

**NAVIGACIJSKA PRIPREMA RUTE PRORAČUNOM ZNAČAJNIH
PUTNIH TOČAKA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2020.

Zagreb, 3. travnja 2020.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Zrakoplovna navigacija I**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5674

Pristupnik: **Dominik Mikolčić (0135253783)**
Studij: **Aeronautika**
Smjer: **Pilot**
Usmjerenje: **Vojni pilot**

Zadatak: **Navigacijska priprema rute proračunom značajnih putnih točaka**

Opis zadatka:

Uvod. Definirati pojmove: Točka bez povratka (PNR - Point of No Return), istrajnost leta (Endurance). Načini i metode proračuna prema EU-OPS 1 Subpart D. Algoritam za izračun PNR. Utjecaj čeone/leđne komponente vjetra na položaj točke na ruti (s jednom ili više etapa). Utjecaj različite potrošnje goriva tijekom leta na ruti na položaj PNR. Definirati pojam Kritične točke (Critical Point ili Point of Equal Time). Načini i metode proračuna. Algoritam za izračun PET. Zaključak.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

prof. dr. sc. Doris Novak

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

NAVIGACIJSKA PRIPREMA RUTE PRORAČUNOM ZNAČAJNIH PUTNIH TOČAKA

NAVIGATION ROUTE PLANNING WITH SIGNIFICANT WAYPOINTS DETERMINATION

Mentor: prof. dr. sc. Doris Novak

Student: Dominik Mikolčić

JMBAG: 0135253783

Zagreb, rujan 2020.

NAVIGACIJSKA PRIPREMA RUTE PRORAČUNOM ZNAČAJNIH PUTNIH TOČAKA

SAŽETAK

Točka bez povratka ili točka sigurnog povratka i kritična točka ili točka jednakog vremena ključne su za planiranje leta u slučajevima kada je aerodrom odredišta izoliran. Izoliranim aerodromima se smatraju oni aerodromi koji nemaju alternativne aerodrome i u slučaju nepredviđenih situacija piloti su primorani vratiti se na aerodrom polazišta ili njegov alternativni aerodrom. Točka bez povratka i točka sigurnog povratka također mogu biti korisne i kada postoje alternativni aerodromi. Vjetar je jedan od ključnih faktora koji utječu na same pozicije točke bez povratka i kritične točke kao i potrošnja goriva. U ovom radu objašnjen je utjecaj čeone i leđne komponente vjetra na poziciju točke bez povratka i kritične točke, navedene su jednadžbe za izračun pozicije točke bez povratka i kritične točke te su razrađeni postupci izračuna pozicije s obzirom na potrošnju goriva.

KLJUČNE RIJEČI: točka bez povratka; kritična točka; sigurna istrajnost leta

SUMMARY

Point of no return or a point of safe return and a critical point or point of equal time are crucial for flight planning in cases where the destination airport is isolated. Isolated airports are those airports that do not have alternative airports and in case of unforeseen situations pilots are forced to return to the airport of departure or its alternative airport. Wind is one of the key factors affecting the very positions of the point of no return and the critical point as well as fuel. This paper explains the influence of the head and tail wind components on the positions of the point of no return and the critical point, the equations for calculating the position of the point of no return and the critical point and the procedures for calculating the position with fuel consumption in mind.

KEYWORDS: point of no return; critical point; safe endurance

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Točka bez povratka.....	2
2.1. Izračun točke bez povratka.....	3
2.2. Utjecaj vjetra na izračun pozicije točke bez povratka	5
2.3. Izračun PNR u slučaju da je alternativa aerodrom polazišta	6
2.4. Izračun PNR - alternativni aerodrom se nalazi na putanji leta	7
2.5. Izračun pozicije točke bez povratka na ruti s jednom etapom	9
2.6. Izračun pozicije točke bez povratka na ruti s više etapa	10
2.7. Izračun točke bez povratka pomoću izračuna potrošnje goriva (jedna etapa)	13
2.8. Radnje i postupci iznad točke bez povratka.....	14
3. Kritična točka	15
3.1. Izvod formule za izračun položaja kritične točke.....	15
3.2. Utjecaj vjetra na položaj kritične točke.....	17
3.3. Izračun pozicije kritične točke s jednim neoperativnim motorom	18
3.4. Izračun pozicije kritične točke na ruti s više etapa	19
4. Navigacijska priprema leta	22
4.1. SID i STAR procedure	23
4.2. Izračun kursova i udaljenosti	25
4.3. Stvarna brzina zrakoplova	25
4.4. Proračun kuta ispravke, kuta zanošenja i putne brzine zrakoplova	26
4.5. Proračun vremena trajanja leta pojedinih etapa i potrošenog goriva	30
4.6. Izračun pozicije točke bez povratka	31
4.7. Izračun pozicije kritične točke	32
5. Zaključak.....	34
LITERATURA	36

POPIS KRATICA	38
POPIS SLIKA	40
POPIS TABLICA.....	41

1. Uvod

Najbrži rast u današnje vrijeme ima zračni promet i potražnja za njim je iz dana u dan sve veća. Kako bi se sigurnost letenja podigla na najvišu moguću razinu, jedan od čimbenika je i detaljna priprema za let. Letovi na izolirane aerodrome koji se nalaze u sred oceana na odvojenim otocima ili se općenito nalaze na takvim prostorima koji onemogućuju diverziju i let zrakoplova na alternativni aerodrom, zahtijevaju proračun točaka na ruti na osnovu kojih piloti mogu odlučivati i donijeti svoj sljedeći korak. Svrha završnog rada je prikazati načine i metode proračuna točke bez povratka i kritične točke te utjecaj vjetera i potrošnje goriva na njihovu poziciju. Naslov završnog rada jest: Navigacijska priprema rute proračunom značajnih putnih točaka. Rad je podijeljen u 5 cjelina:

1. Uvod
2. Točka bez povratka
3. Kritična točka
4. Navigacijska priprema leta
5. Zaključak.

Drugo poglavlje sastoji se od 8 cjelina u kojima je definirana točka bez povratka, opisani su načini i metode njezinog proračuna, utjecaj čeonice i leđne komponente vjetera na njenu poziciju te utjecaj različite potrošnje goriva na ruti leta na izračun njene pozicije. Također su opisani postupci koje je pilot dužan obaviti prije samog dolaska na točku bez povratka.

Treće poglavlje sastoji se od 4 cjeline i u njima se iznose osnovne činjenice o kritičnoj točki, načini i metode proračuna pozicije kritične točke te utjecaj vjetera na njenu poziciju. Navedeni su računski primjeri iz kojih je vidljivo kako se računa i određuje položaj kritične točke na ruti s više etapa ili u slučaju kada zrakoplov ima jedan neoperativan motor.

U četvrtom poglavlju opisan je izračun navigacijske pripreme leta među kojima su određene i pozicije točke bez povratka i kritične točke. Radi jednostavnosti računanja meteorološki uvjeti su uzeti proizvoljno (vjetar, temperatura...)

2. Točka bez povratka

Točka bez povratka (engl. *Point of No Return*-PNR) ili točka sigurnog povratka (engl. *Point of Safe Return*-PSR) je najudaljenija točka na planiranoj ruti do koje zrakoplov može letjeti i vratiti se na aerodrom polazišta ili njegov alternativni aerodrom s gorivom potrebnim za sigurnu istrajnost leta zrakoplova (engl. *Safe Endurance*). Sigurna istrajnost leta je vrijeme koje zrakoplov može provesti u zraku bez potrošnje obvezne rezerve goriva koja je potrebna za let iznad aerodroma polazišta ili njegovog alternativnog aerodroma u slučaju povratka s PNR. Sigurna istrajnost leta, koja se prikazuje pomoću vremena ili količine goriva, koristi se za izračun PNR. Pojam sigurna istrajnost leta nije isto što i ukupna istrajnost leta, ukupno vrijeme koje zrakoplov može provesti u zraku dok se spremnici goriva ne isprazne [1].

Ako se vremenske prilike, stanje uzletno-sletne staze ili politička situacija na aerodromu odredišta pogoršaju, jedina mogućnost je povratak na aerodrom polazišta ili njegov alternativni aerodrom i zbog toga je nužno izračunati i odrediti na zadanoj ruti PNR. Uobičajeno, izračun PNR je nužan samo za letove na izolirana odredišta i kada ne postoji alternativni aerodrom za aerodrom odredišta. Primjeri u kojima je nužno izračunati PNR su letovi s aerodromom odredišta na Azorskim otocima ili nekim sličnim mjestima [1].

Gorivo potrebno za let na izolirani aerodrom bez alternativnog aerodroma odredišta sastoji se od:

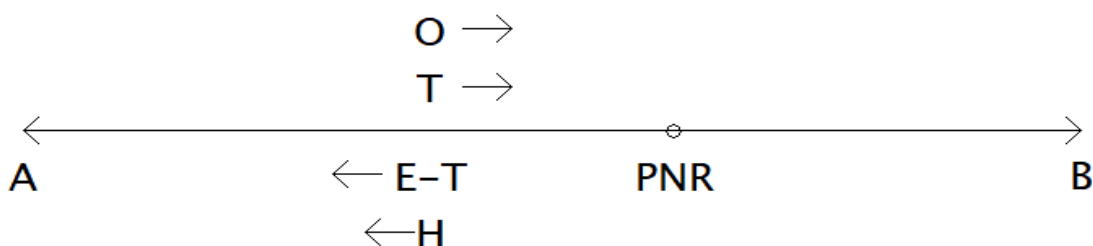
- goriva potrebnog za voženje (engl. *Taxi fuel*)
- goriva potrebnog za let od aerodroma polazišta do aerodroma odredišta (engl. *Trip fuel*)
- goriva potrebnog u slučaju nepredviđenih situacija (5% *trip fuel*)
- dodatnog goriva koje ne smije biti manje od:
 - o za klipne motore, goriva potrebnog za let od 45 minuta + 15% goriva koje se potroši u krstarenju ili goriva potrebnog za 2 sata leta, ovisno koja vrijednost je manja
 - o za mlazne zrakoplove, goriva potrebnog za 2 sata leta u uvjetima normalnog krstarećeg režima iznad aerodroma odredišta na nadmorskoj visini [3].

Tijekom leta, razumno vrijeme prije predviđenog vremena dolaska (engl. *Estimated Time of Arrival-ETA*) na PNR, pilot provjerava da su vremenske prilike, zemaljska oprema i stanje uzletno-sletne staze prihvatljivi za slijetanje obično jedan sat prije i jedan sat poslije predviđenog vremena dolaska na aerodrom odredišta. [1, 2].

Udaljenost do PNR i udaljenost od PNR do aerodroma polazišta ili njegovog alternativnog aerodroma su jednaki. Let od aerodroma polazišta do PNR naziva se *outbound*, a let od PNR do aerodroma polazišta ili njegovog alternativnog aerodroma naziva se *homebound*. Vrijeme leta do PNR i vrijeme od PNR do aerodroma polazišta ili njegovog alternativnog aerodroma će biti jednaki u slučaju da nema utjecaja vjetra. U slučaju da postoji uzdužna komponenta vjetra, vrijeme leta do PNR i vrijeme leta od PNR do aerodroma polazišta ili njegovog alternativnog aerodroma neće biti jednako. U oba slučaja, bez uzdužne komponente vjetra i s njom, zbroj vremena leta do PNR i od PNR do aerodroma polazišta ili njegovog alternativnog aerodroma će biti jednak sigurnoj istrajnosti leta [1].

2.1. Izračun točke bez povratka

PNR je točka koja se nalazi na određenom mjestu na planiranoj ruti. Ta točka se može prikazati kao udaljenost na ruti ili pomoću vremena, odnosno koliko vremena je potrebno, od polijetanja, da zrakoplov dođe do točke sigurnog povratka odnosno točke bez povratka. Na slici 1 prikazana je skica putanje leta zrakoplova od aerodroma polazišta do aerodroma odredišta na kojoj se nalazi PNR [1].



Slika 1. Prikaz putanje leta zrakoplova

Prema [6] vrijeme potrebno da zrakoplov dođe do PNR može se izračunati pomoću formule (1):

Gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- O – brzina zrakoplova u odnosu na zemlju odnosno putna brzina (engl. *Ground Speed-GS*) od aerodroma polazišta do PNR
- H – brzina zrakoplova u odnosu na zemlju odnosno putna brzina od PNR do aerodroma polazišta ili njegovog alternativnog aerodroma
- T(PNR) – vrijeme koje je potrebno zrakoplovu da dođe do PNR nakon polijetanja
- E – sigurna istrajnost leta.

Prema [5] izvod formule za izračun PNR u jedinici vremena je:

$$T \times O = (E - T) \times H \quad (2)$$

$$T \times O = E \times H - T \times H \quad (3)$$

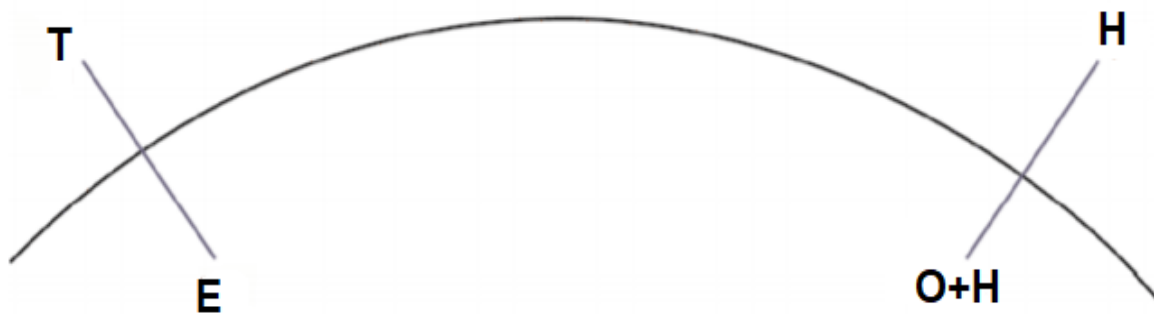
$$T \times O + T \times H = E \times H \quad (4)$$

$$T \times (O + H) = E \times H \quad (5)$$

gdje je:

- $E - T$ – vrijeme leta od PNR do aerodroma polazišta ili njegovog alternativnog aerodroma.

Na slici 2. nalazi se prikaz transponiranja formule za izračun PNR na navigacijsko računalo.



Slika 2. Transponiranje formule na navigacijsko računalo, [1]

Postoje različite metode za izračun PNR, a jedna od njih je i izračun pomoću specifične potrošnje goriva (engl. *Specific Fuel Consumption*). Specifična potrošnja goriva se računa tako da se planirana potrošnja goriva pri krstarenju podijeli s brzinom zrakoplova u odnosu na zemlju odnosno putnom brzinom prema planiranoj destinaciji ili alternativnom aerodromu. Rezultat dijeljenja daje potrebno gorivo po nautičkoj milji

u oba smjera. Prema [4] osnovna jednažba koja se koristi za izračun udaljenosti PNR od aerodroma polazišta pomoću potrošnje goriva je:

$$D(PNR) = \frac{FFA}{SFF(u odlasku) + SFF(u povratku)} \quad (6)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- *FFA* – raspoloživa količina goriva za let (engl. *Flight Fuel Available*),
- *SFF* – specifična potrošnja goriva (engl. *Specific Fuel Flow*).

Raspoloživa količina goriva za let je korisno gorivo (engl. *Usable Fuel on Board-FOB*) umanjeno za fiksne rezerve (engl. *Fixed Reserve-FR*) i gorivo koje se koristi za voženje. Za sve letove s pravilima instrumentalnog letenja (engl. *Instrument Flight Rules-IFR*) za koje je nužno odrediti PNR, potrebno je osigurati dodatnu rezervu goriva u slučaju jačeg vjetra od prognozirano ili u slučaju općenito veće potrošnje goriva od planirane [4].

2.2. Utjecaj vjetra na izračun pozicije točke bez povratka

Zbog jednostavnosti objašnjenja utjecaja vjetra na poziciju točke bez povratka koristi se primjer.

Primjer 1:

Potrebno je izračunati vrijeme trajanja leta do PNR. Zadani uvjeti su:

- Istrajnost leta: 5 sati, TAS=200kt (bez vjetra)
- Istrajnost leta: 5 sati, TAS=200kt (vjetar: 25kt čeone komponente u letu prema točki bez povratka)
- Istrajnost leta: 5 sati, TAS=200kt (vjetar: 25kt leđne komponente u letu prema točki bez povratka)

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- *TAS*-(engl. *True airspeed*) stvarna zračna brzina
- *kt*-(engl. *Knots, kn*) čvorovi, mjerna jedinica za brzinu [6].

Koristeći formulu (1) za izračun pozicije točke bez povratka dobivamo sljedeće podatke:

$$a) \quad T(PNR) = \frac{E \times H}{O + H} \rightarrow T(PNR) = \frac{5[h] \times 200[kt]}{200[kt] + 200[kt]} \rightarrow T(PNR) = 2,5[h]$$

$$b) \quad T(PNR) = \frac{E \times H}{O + H} \rightarrow T(PNR) = \frac{5 \times (200 + 25)}{(200 - 25) + (200 + 25)} \rightarrow T(PNR) = 2,8[h]$$

$$c) \quad T(PNR) = \frac{E \times H}{O + H} \rightarrow T(PNR) = \frac{5 \times (200 - 25)}{(200 + 25) + (200 - 25)} \rightarrow T(PNR) = 2,1[h].$$

Pomoću dobivenih vremena moguće je izračunati udaljenosti točke bez povratka za sva tri specifična slučaja i ona iznose:

$$a) \quad D = 200[kt] \times 2,5[h] = 500NM$$

$$b) \quad D = 175[kt] \times 2,8[h] = 490NM$$

$$c) \quad D = 225[kt] \times 2,1[h] = 472,5NM.$$

Ovi rezultati dovode do zaključka da je točka bez povratka najudaljenija od aerodroma polazišta kada vjetar ne postoji. Postojanje čeone ili leđne komponente vjetra dovodi do smanjene udaljenosti točke bez povratka od aerodroma polazišta nego u slučaju kada nema utjecaja uzdužne komponente vjetra na zrakoplov. Što je uzdužna komponenta vjetra veća, smanjenje udaljenosti točke bez povratka je veće. Također, dobiveni rezultati pokazuju da će zrakoplovu najviše vremena trebati da dođe do točke bez povratka kada na njega djeluje čeona komponenta vjetra, a najmanje kada na njega djeluje leđna komponenta vjetra. [6]

2.3. Izračun PNR u slučaju da je alternativa aerodrom polazišta

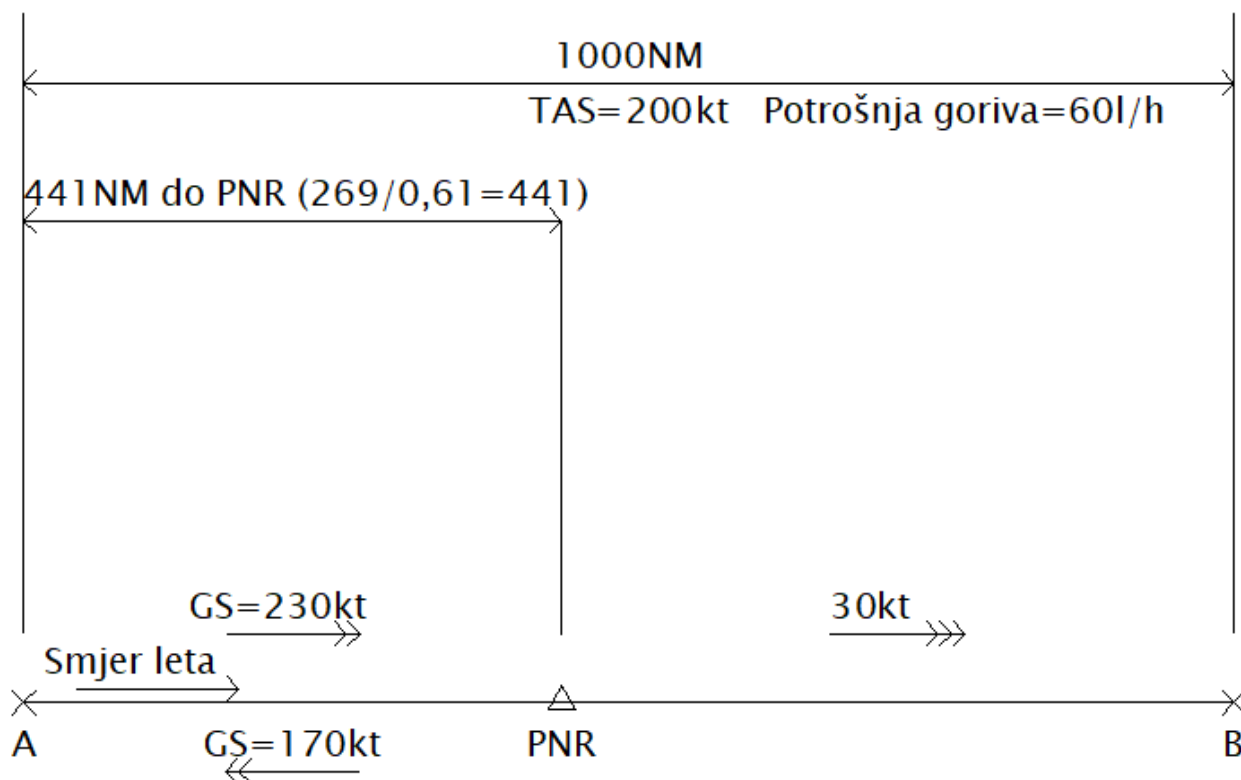
Ovo je najjednostavnija situacija za određivanje PNR. Zbog jednostavnijeg objašnjenja koristi se primjer.

Primjer 2:

Pretpostavlja se da zrakoplov leti od točke A do točke B između kojih je udaljenost od 1000 nautičkih milja (NM). Koristi se maksimalna snaga u krstarenju koja daje potrošnju goriva od 60 litara po satu. Stvarna zračna brzina iznosi 200kt uz 30kt leđne komponente vjetra. Putna brzina zrakoplova u odlasku je 230kt, a 170kt u povratku.

Specifična potrošnja goriva u odnosu na zemlju (engl. *Ground Specific Fuel Flow- GSFF*) u odlasku je 0,26 litara (60/230) po nautičkoj milji, a GSFF u povratku je 0,35 (60/170) litara po nautičkoj milji. Suma specifičnih potrošnji goriva iznosi 0,61 litra po nautičkoj milji. Raspoloživo gorivo za let računa se tako da se od korisnog goriva oduzmu fiksne rezerve (60 litara), gorivo za voženje (10 litara) i gorivo koje se potroši pri penjanju zrakoplova (11 litara). Prema tome, FFA iznosi 309 litara ($390 - (60 + 10 + 11)$). Ovaj iznos se podijeli s 1,15 zbog dijela koji se odnosi na različite rezerve, dajući konačan iznos FFA od 269 litara. Udaljenost točke bez povratka od točke A dobije se tako da se 269 podijeli s 0,61 pri čemu je konačan rezultat 441NM [4]

Na slici 3 prikazana je skica ovog primjera.



Slika 3. Skica primjera izračuna točke bez povratka

2.4. Izračun PNR - alternativni aerodrom se nalazi na putanji leta

Izračun točke bez povratka za ovaj slučaj gotovo je identičan kao i u prethodnom primjeru. Razlika je što se u ovom slučaju alternativni aerodrom nalazi na putanji leta između aerodroma polazišta i aerodroma odredišta. Radi jednostavnijeg objašnjenja koristi se primjer.

Primjer 3:

Zrakoplov leti od točke A do točke B koje su međusobno udaljene 600NM stvarnom brzinom od 200kt. Alternativni aerodrom se nalazi na točki C koja je od aerodroma polazišta udaljena 200NM i nalazi se na putanji leta. To znači da udaljenost od točke C do točke B iznosi 400NM.

Zadani podaci su:

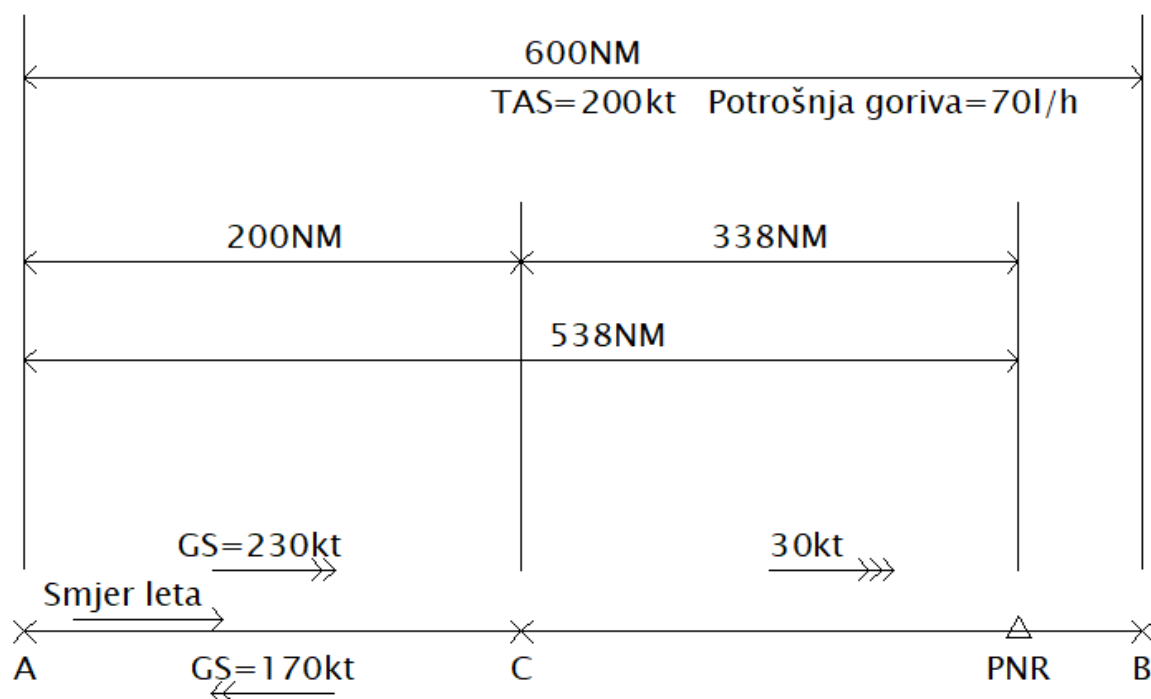
- a) FFA (nakon oduzimanja rezervi) iznosi 300 litara,
- b) potrošnja goriva u krstarenju je 70 l/h,
- c) na zrakoplov utječe leđna komponenta vjetra od 30kt u odlasku
- d) putna brzina zrakoplova u letu od točke A prema točki B iznosi 230kt,
- e) putna brzina zrakoplova u letu od točke B prema točki B iznosi 170kt.
- f) GSFF u odlasku iznosi 0,3l/NM ($70[l/h]/230[NM/h]$)
- g) GSFF u povratku iznosi 0,41l/NM ($70/170$)

Prvo je potrebno odrediti koliko je goriva potrebno za let od točke A do točke C. Taj iznos se dobije tako da se udaljenost od točke A do točke C (200NM) pomnoži s GSFF (0.3 l/NM): 60 litara.

Ovaj iznos se oduzme od FFA od točke A do točke B kako bi se dobio FFA od točke C do točke B i taj iznos je 240 litara goriva.

Udaljenost točke bez povratka od točke C dobije se dijeljenjem 240 s 0,71 (suma GSFF u odlasku i povratku). Rezultat je konačnih 338NM. To znači da je točka bez povratka udaljena 62NM od točke B i ako zrakoplov preleti ovu točku, neće više imati dovoljno goriva za povratak na točku A.

Skica primjera 3 prikazana je na slici 4.



Slika 4. Skica primjera izračuna točke bez povratka u slučaju da se alternativni aerodrom nalazi na putanji leta između aerodroma polazišta i aerodroma odredišta

2.5. Izračun pozicije točke bez povratka na ruti s jednom etapom

Radi lakšeg objašnjenja izračuna koristi se primjer.

Primjer 4:

Potrebno je odrediti vrijeme i udaljenost točke bez povratka koristeći sljedeće podatke:

- *Outbound* – TAS=300kt, čeona komponenta vjetra=30kt (engl. *Head Wind Component-HWC*)
- *Homebound* – TAS=300kt, leđna komponenta vjetra=30kt (engl. *Tail Wind Component-TWC*)
- Raspoloživo gorivo (bez rezerve) iznosi 10000kg
- Srednja potrošnja goriva iznosi 1700kg/h (kilograma po jednom satu)

U slučaju kada na zrakoplov utječe HWC, GS se dobije tako da se od iznosa TAS-a oduzme iznos HWC. Prema tome dobije se:

$$A \rightarrow PSR \quad O = TAS - HWC = 300 - 30 = 270kt \quad (7)$$

$$PSR \rightarrow A \quad H = TAS + TWC = 300 + 30 = 330kt \quad (8)$$

Istrajnost leta računa se tako da se raspoloživo gorivo podijeli sa srednjom potrošnjom goriva, koja na kraju iznosi:

$$E = \frac{FFA}{MFC} = \frac{10000[kg]}{1700[\frac{kg}{h}]} = 5,89h \quad (9)$$

gdje je:

- *MFC*-srednja potrošnja goriva (engl. *Mean Fuel Consumption*).

Koristeći formulu (1) dobiva se vrijeme leta do PNR:

$$T(PNR) = \frac{E \times H}{O + H} = \frac{5,89 \times 330}{270 + 330} = 3,24h$$

Udaljenost od točke A do PNR izračuna se pomoću formule za brzinu tijela tijekom jednolikog pravocrtnog gibanja:

$$v = \frac{s}{t}, \quad (10)$$

$$s = v \times t, \quad (11)$$

$$t = \frac{s}{v}, \quad (12)$$

gdje su:

- *v* – brzina tijela
- *s* – prijeđeni put
- *t* – vrijeme.

Koristeći formulu (11) udaljenost od točke A do PNR iznosi:

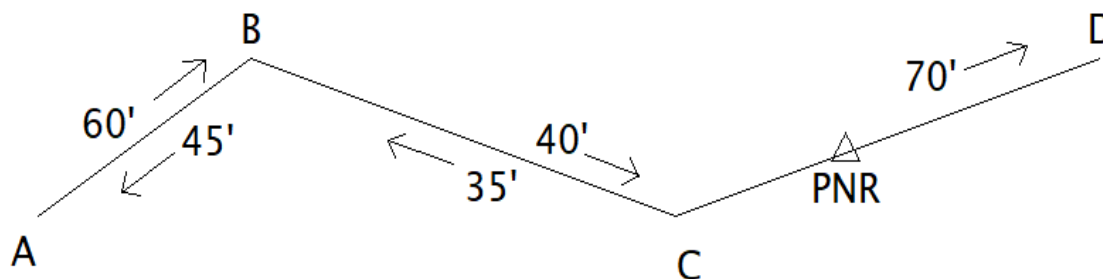
$$D(PNR) = T(PNR) \times O = 3,24 \times 270 = 874,8NM. \quad (12)$$

2.6. Izračun pozicije točke bez povratka na ruti s više etapa

Osnovni princip izračuna pozicije točke bez povratka temelji se na izračunu vremena trajanja leta na svakoj etapi u odlasku (*outbound*) i u povratku (*homebound*). Nakon toga, ta vremena je potrebno usporediti s vremenom sigurne istrajnosti i prema tome odrediti na kojoj etapi se može nalaziti točka bez povratka. Radi lakšeg objašnjenja izračuna koristi se primjer prema [8].

Primjer 5:

Potrebno je odrediti položaj točke bez povratka na ruti s tri etape koja je prikazana na slici 5.



Slika 5. Skica rute s tri etape i prikaz vremena leta u odlasku i povratku

Zadani podaci su:

- sigurna istrajnost leta iznosi 4 sata i 20 minuta (260 minuta),
- vrijeme leta od A do B iznosi 60 minuta,
- vrijeme leta od B do A iznosi 45 minutu,
- vrijeme leta od B do C iznosi 40 minuta,
- vrijeme leta od C do B iznosi 35 minute,
- vrijeme leta od C do D iznosi 70 minuta,
- ukupno trajanje leta od A do B do C i nazad iznosi 180 minuta.

Kada se od sigurne istrajnosti leta oduzme iznos ukupnog trajanja leta od A do B do C i nazad, dobije se vrijeme od 80 minuta i to vrijeme nije dovoljno da zrakoplov leti i do točke D i nazad. Budući da se dobije vrijeme od 80 minuta, to znači da se točka bez povratka nalazi negdje na etapi od točke C do točke D. [8]

Za izračun točne pozicije točke bez povratka potrebno je poznavati dodatne podatke koji nisu bili navedeni u prethodnom primjeru. U primjeru 6 bit će opisano kako se izračunava točna pozicija točke bez povratka pomoću poznatih duljina etapa, stvarnih brzina zrakoplova i utjecaja vjetrova.

Primjer 6:

Potrebno je izračunati vrijeme i udaljenost od točke A do točke bez povratka. Zadani podaci su:

- sigurna istrajnost leta iznosi 12 sati,

- udaljenost od A do B je 550NM,
- TAS od A do B je 150kt uz utjecaj čeonu komponente vjetra od 25kt,
- udaljenost od B do C je 450NM,
- TAS od B do C je 150kt uz utjecaj leđne komponente vjetra od 10kt.

Princip izračuna točne pozicije točke bez povratka je isti onaj koji je opisan u primjeru 5. Vremena leta zrakoplova na pojedinim etapama računaju se koristeći formulu (12) i ona iznose:

$$A \rightarrow B \quad t = \frac{550[NM]}{125[kt]} = 4,4h$$

$$B \rightarrow A \quad t = \frac{550[NM]}{175[kt]} = 3,1h$$

$$B \rightarrow C \quad t = \frac{450[NM]}{160[kt]} = 2,8h$$

$$C \rightarrow B \quad t = \frac{550[NM]}{140[kt]} = 3,9h.$$

Poznato je da se PNR nalazi negdje na etapi B → C budući da je sigurna istrajnost leta 12 sati i zrakoplov ne bi mogao letjeti sve od točke A do točke C i nazad. Preostala istrajnost leta računa se prema formuli (13):

$$E = SE - t(A \rightarrow B \rightarrow A) = 12 - (4,4 + 3,1) = 4,5h \quad (13)$$

gdje je:

- E – preostala istrajnost leta (engl. *Endurance*)
- SE – sigurna istrajnost leta (engl. *Safe Endurance*)
- t (A → B → A) – vrijeme leta od točke A do točke B i nazad.

Vrijeme leta od točke B do PNR računa se prema formuli (1):

$$T(B \rightarrow PNR) = \frac{E \times H}{O + H} = \frac{(4,5 \times 140)}{(160 + 140)} = 2,1h$$

Vrijeme leta od točke A je suma vremena leta od točke A do točke B i vremena leta od točke B do PNR:

$$T(A \rightarrow PNR) = 4,4 + 2,1 = 6,5h.$$

Udaljenost do PNR je suma udaljenosti od točke A do točke B i udaljenosti od točke B do PNR. Udaljenost od točke B do PNR računa se prema formuli (11):

$$D(B \rightarrow PNR) = 2,1[h] \times 160[kt] = 336NM$$

$$D(A \rightarrow PNR) = 550 + 336 = 886NM.$$

2.7. Izračun točke bez povratka pomoću izračuna potrošnje goriva (jedna etapa)

Potrošnja goriva tijekom leta može se razlikovati. To može biti slučaj kada zrakoplov leti u odlasku na jednoj visini, a kada dođe do točke bez povratka u povratku leti na drugoj visini. Udaljenost i vrijeme točke bez povratka, osim što ovisi o putnoj brzini zrakoplova, odnosno o utjecaju čeonog ili leđnog komponente vjeta, ovisi i o potrošnji goriva. Raspoloživo gorivo za izračun pozicije točke bez povratka je suma goriva potrošenog na let do točke bez povratka i goriva potrošenog na let od PNR do alternativnog aerodroma, neovisno o tome je li alternativni aerodrom polazišni ili neki drugi [9].

Na primjeru 7 prikazano je kako se izračunava pozicija točke bez povratka ako zrakoplov ima različitu potrošnju goriva u odlasku i povratku. Prema [9] raspoloživo gorivo može se izračunati prema formuli (14):

$$F = CO + CH \quad (14)$$

gdje je:

- F – raspoloživo gorivo za izračun PNR,
- CO – gorivo potrošeno u odlasku,
- CH – gorivo potrošeno u povratku.

Primjer 7:

Potrebno je izračunati udaljenost i vrijeme točke bez povratka. Zadani su podaci:

- $TAS=200kt$,
- WC (engl. *Wind Component*-komponenta vjeta) (*outbound*) = $+20kt$,
- ukupno raspoloživo gorivo za let (bez rezerve) iznosi $40000kg$,
- FF (*outbound*) na $FL290$ (engl. *Flight Level*-razina leta) iznosi $6000kg/h$,
- FF (*homebound*) na $FL310$ iznosi $5500kg/h$.

Prvo je potrebno izračunati putnu brzinu zrakoplova u odlasku koja je potrebna za izračun potrošnje goriva od aerodroma polazišta do PNR i ona iznosi:

$$GS (outbound) = TAS + TWC = 200 + 20 = 220kt.$$

Potrošnja goriva u odlasku (CO) iznosi:

$$CO = \frac{6000[\frac{kg}{h}]}{220kt} = 27,27kg/NM$$

Potrošnja goriva u povratku računa se na isti način kao i potrošnja goriva u odlasku:

$$CH = \frac{5500[\frac{kg}{h}]}{(200 - 20)[kt]} = \frac{30,56kg}{NM}.$$

Udaljenost kritične točke računa se tako da se ukupno raspoloživo gorivo podijeli sa sumom potrošnje goriva u odlasku i povratku. To je prikazano sljedećom jednažbom:

$$D(CP) = \frac{FA}{CO + CH} = \frac{40000}{27,27 + 30,56} = 691,68NM.$$

gdje je:

- FA – ukupna raspoloživa količina goriva

Vrijeme potrebno da zrakoplov dođe do kritične točke je:

$$T = \frac{D(CP)}{GS(outbound)} = \frac{691,68}{220} = 3,14.$$

2.8. Radnje i postupci iznad točke bez povratka

Prije preleta točke bez povratka, a koje ne bi smjelo biti više od 30 minuta udaljeno od aerodroma odredišta, sljedeće radnje trebaju biti poduzete:

- potvrditi da je moguće voditi navigaciju do aerodroma odredišta ili njegovog alternativnog aerodroma,
- uspostaviti kontakt s aerodromom odredišta i njegovim alternativnim aerodromom,
- potvrditi da su meteorološki uvjeti iznad aerodroma odredišta i njegovog alternativnog aerodroma u skladu s propisanim minimumima,
- provjeriti da su uvjeti za slijetanje s jednim motorom neoperativnim ispunjeni.

[3]

3. Kritična točka

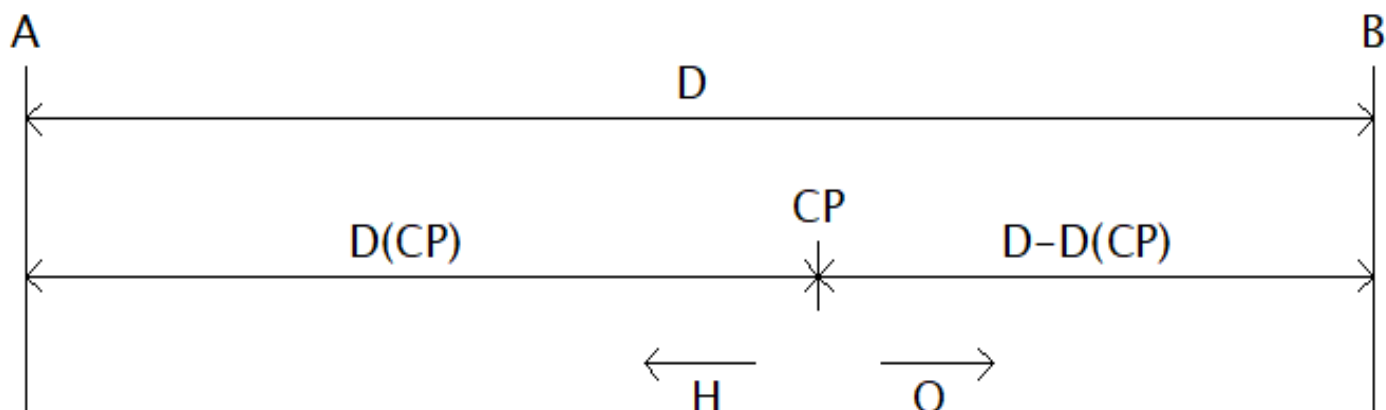
Kritična točka (engl. *Critical Point-CP*) se također naziva i točka jednakog vremena (engl. *Point of Equal Time-PET*). Kritična točka je pozicija na ruti s koje je vrijeme trajanja leta u odlasku i u povratku jednako. [1]

Kritična točka omogućuje pilotu da brzo odluči do koja od dva diverzijska aerodroma će prije doći ako dođe do otkaza motora ili nekog drugog sustava ili nekog drugog nepredviđenog događaja poput ozbiljnih medicinskih poteškoća. U tom slučaju pilot može procijeniti hoće li nastaviti letjeti do aerodroma odredišta ili alternativnog aerodroma ili će se vratiti na aerodrom polazišta budući da je vrijeme leta od kritične točke do aerodroma odredišta ili alternativnog aerodroma i vrijeme leta od kritične točke do aerodroma polazišta jednako. Gorivo ukrcano za let zrakoplova će uvijek biti dovoljno za let od kritične točke na bilo koji planirani aerodrom. Da bi vrijeme leta do kritične točke i vrijeme leta od kritične točke bilo jednako, udaljenosti do kritične točke i od kritične točke se moraju razlikovati. Jedino u slučaju kada utjecaj vjetra ne postoji, tada će i vremena i udaljenosti biti jednake. [1]

Rute preko oceana ili udaljenijih dijelova svijeta, gdje u slučaju nepredviđenih situacija nema prikladnih rješenja za preusmjeravanje s rute unutar razumnog vremena na bilo kojoj točki na ruti, mogu zahtijevati izračun kritične točke između aerodroma polazišta i aerodroma odredišta. Sve operacije s udaljenošću većom od jednog sata leta u mirnom zraku pri normalnoj brzini krstarenja s jednim operativnim motorom spadaju pod *Extended Range Twin Operations* (ETOPS). [1]

3.1. Izvod formule za izračun položaja kritične točke

Radi razumijevanja samog izračuna pozicije kritične točke, prvo je potrebno definirati pojmove *homebound* i *outbound* koji nemaju isto značenje kao i kod izračuna točke bez povratka. U ovom slučaju *homebound* i *outbound* su određeni u odnosu na kritičnu točku. *Homebound* je izražen kao putna brzina zrakoplova od kritične točke do točke A, a *outbound* kao putna brzina zrakoplova od kritične točke do točke B kako je prikazano na slici 6. [10]



Slika 6. Prikaz putanje leta zrakoplova s kritičnom točkom

Popis oznaka na slici 6:

- D – ukupna udaljenost između točaka A i B
- $D(CP)$ – udaljenost od točke A do kritične točke
- $D - D(CP)$ – udaljenost od kritične točke do točke B
- H – putna brzina od kritične točke do točke A
- O – putna brzina od kritične točke do točke B

Problem kritične točke je vrijeme leta što znači da vrijeme povratka (*homebound*) mora biti jednako vremenu nastavka leta od kritične točke do destinacije (*outbound*), a kako je vrijeme izraženo kao omjer udaljenosti i brzine, dobivamo formulu za izračun udaljenosti kritične točke:

$$\frac{D(CP)}{H} = \frac{D - D(CP)}{O}, \quad (15)$$

$$D(CP) \times O = H \times (D - D(CP)), \quad (16)$$

$$D(CP) \times O = H \times D - H \times D(CP), \quad (17)$$

$$D(CP) \times (O + H) = H \times D, \quad (18)$$

$$D(CP) = \frac{H \times D}{O + H}. \quad (19)$$

3.2. Utjecaj vjetra na položaj kritične točke

Utjecaj vjetra na položaj kritične točke najlakše je predložiti računskim primjerom.

Primjer 8:

Potrebno je izračunati udaljenosti kritične točke. Duljina rute je 1000NM, a zrakoplov leti stvarnom brzinom od 250kt. Potrebno je naglasiti da u slučaju kada postoji čeona komponenta vjetra, to se odnosi na let od aerodroma polazišta do kritične točke, dok će u povratku od kritične točke do aerodroma polazišta na zrakoplov djelovati leđna komponenta vjetra. U prvom slučaju bit će izračunata udaljenost kritične točke u uvjetima bez vjetra, dok će u drugom i trećem slučaju biti izračunata udaljenost kritične točke kada na zrakoplov djeluje čeona odnosno leđna komponenta vjetra [11].

a) Bez utjecaja vjetra:

$$D(CP) = \frac{H \times D}{O + H} = \frac{250[kt] \times 1000[NM]}{250[kt] + 250[kt]} = 500NM,$$

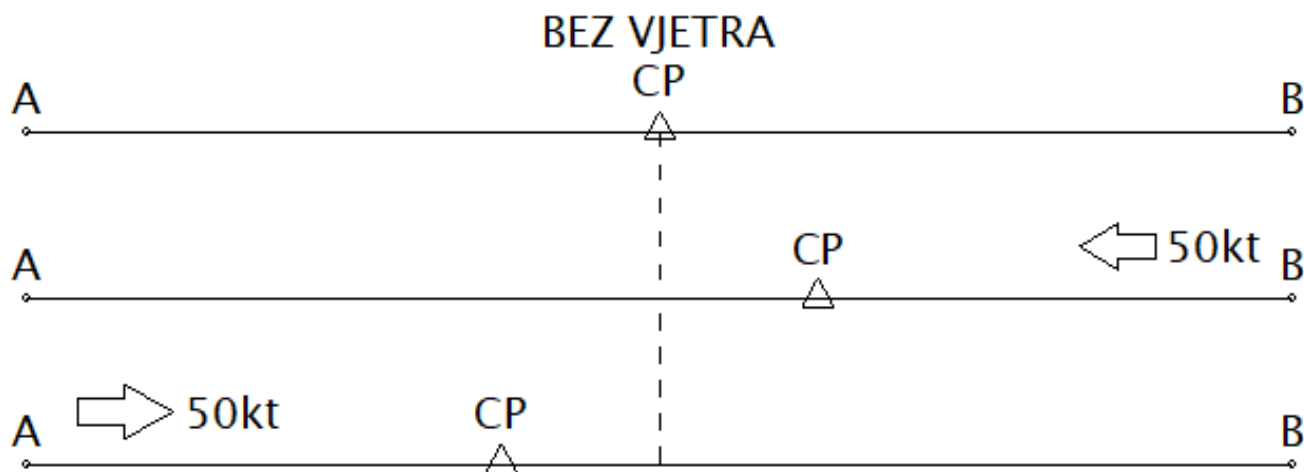
b) na zrakoplov utječe 30kt čeone komponente vjetra:

$$D(CP) = \frac{H \times D}{O + H} = \frac{(250 + 30)[kt] \times 1000[NM]}{(250 - 30)[kt] + (250 + 30)[kt]} = 560NM,$$

c) na zrakoplov utječe 30kt leđne komponente vjetra:

$$D(CP) = \frac{H \times D}{O + H} = \frac{(250 - 30)[kt] \times 1000[NM]}{(250 + 30)[kt] + (250 - 30)[kt]} = 440NM,$$

Primjer 8 dovodi do zaključka da u mirnom zraku kada nema utjecaja vjetra na zrakoplov, kritična točka se nalazi točno na polovici rute. U slučaju da na zrakoplov utječe vjetar, kritična točka se pomiče u smjeru suprotnom od smjera puhanja vjetra. Što je komponenta vjetra jača, to se kritična točka više pomiče u smjeru suprotnom od smjera puhanja vjetra. Utjecaj vjetra na poziciju kritične točke prikazan je na slici 7. [1],[11].



Slika 7. Prikaz utjecaja vjetra na poziciju kritične točke

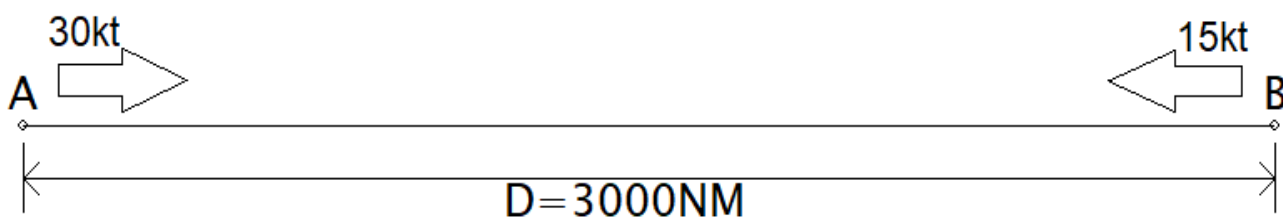
3.3. Izračun pozicije kritične točke s jednim neoperativnim motorom

U primjeru 9 bit će opisan način i metoda izračuna udaljenosti i vremena potrebnog da zrakoplov dođe do kritične točke od samog polijetanja. [12]

Zadani podaci su:

- TAS (svi motori operativni)=450kt
- TAS (jedan motor neoperativan)=350kt.

Skica primjera 9 prikazana je na slici 8.



Slika 8. Skica rute leta zrakoplova za primjer 9

Potrebno je naglasiti da se za izračun udaljenosti kritične točke koristi stvarna brzina zrakoplova s jednim neoperativnim motorom, a za izračun vremena potrebnog da zrakoplov dođe od točke A do CP koristi se stvarna brzina zrakoplova sa svim operativnim motorima. Budući da na zrakoplov djeluje vjetar, potrebno je izračunati putnu brzinu zrakoplova u povratku od CP do točke A i putnu brzinu zrakoplova od CP do točke B. Putna brzina zrakoplova u povratku iznosi:

$$H = 350 - 30 = 320kt,$$

a putna brzina zrakoplova u nastavku leta od CP do točke B iznosi:

$$O = 350 - 15 = 335kt.$$

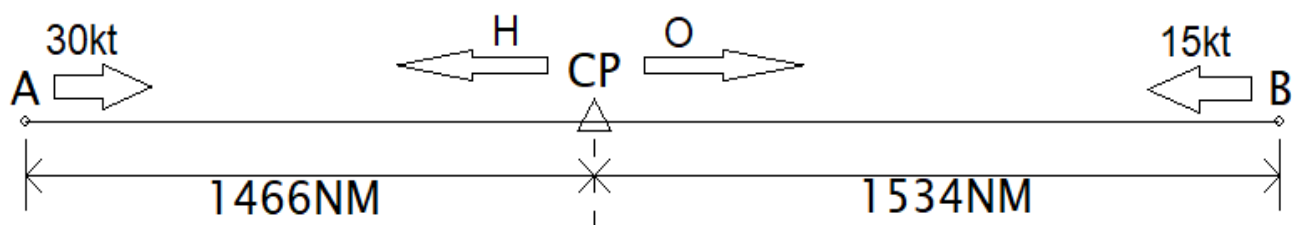
Udaljenost kritične točke računa se prema formuli (19):

$$D(CP) = \frac{H \times D}{O + H} = \frac{320 \times 3000}{335 + 320} \approx 1466NM.$$

Kao što je već navedeno, za izračun vremena do CP koristi se stvarna brzina zrakoplova sa svim operativnim motorima. Dakle, vrijeme potrebno do CP iznosi:

$$T(CP \rightarrow A) = \frac{1466NM}{(450 - 30)kt} \approx 3,5h.$$

Konačna skica primjera 9 prikazana je na slici 9.



Slika 9. Skica primjera 9

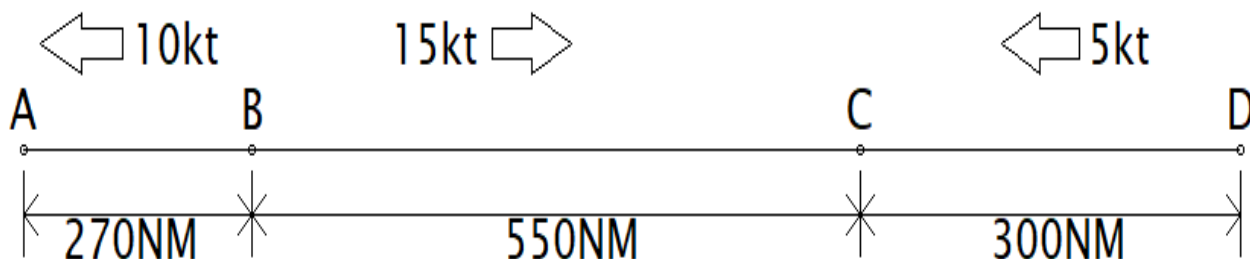
3.4. Izračun pozicije kritične točke na ruti s više etapa

U ovoj cjelini bit će opisana metodologija izračuna pozicije kritične točke na ruti koja se sastoji od više etapa ili sektora. Najlakši način za to je izračun pomoću primjera. Podaci za primjer 10 dani su u tablici 1.

Tablica 1. Podaci za primjer 10

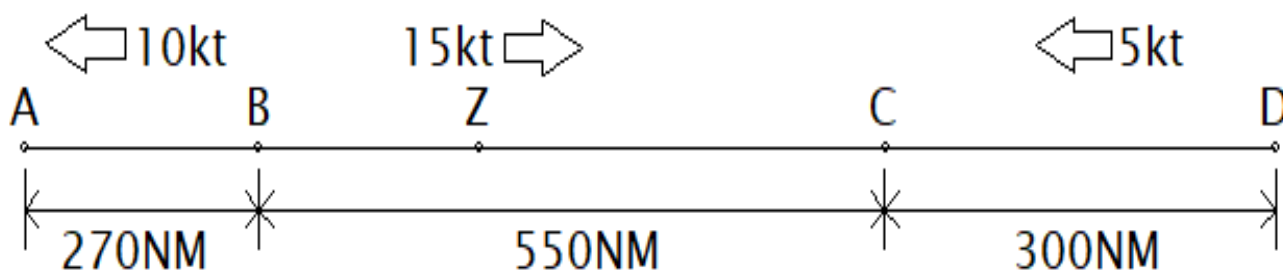
ETAPA	UDALJENOST (NM)	TAS(kt)	KOMPONENTA VJETRA
A → B	270	200	-10
B → C	550	200	+15
C → D	300	200	-5

Potrebno je izračunati vrijeme trajanja leta i udaljenost kritične točke od točke A. Skica primjera 10 prikazana je na slici 10.



Slika 10. Skica primjera 10 - izračun pozicije kritične točke na ruti s više etapa

Na slici 9 prikazane su tri etape u pravcu radi jednostavnijeg prikaza, za izračun pozicije kritične točke u primjeru 10 ključno je da su zadane duljine pojedinih etapa. Metodologija izračuna pozicije kritične točke temelji se na određivanju točke (u primjeru 10 navedena kao točka Z) na ruti leta. Suma vremena trajanja leta od točke B do točke A i od točke Z do točke B bit će jednaka vremenu trajanja leta od točke C do točke D. Ova tvrdnja prikazana je grafički na slici 11. [13]



Slika 11. Skica primjera 10 – točka Z

Prvi korak izračuna pozicije kritične točke na ruti s više etapa je izračun vremena trajanja leta na etapi B → A i etapi C → D. Vrijeme trajanja leta na etapi B → A iznosi:

$$T(B \rightarrow A) = \frac{270 [NM]}{(200 + 10)[kt]} = 1,29h,$$

a vrijeme trajanja leta na etapi C → D iznosi:

$$T(C \rightarrow D) = \frac{300 [NM]}{(200 - 5)[kt]} = 1,54h.$$

Vrijeme trajanja leta od točke Z do točke B računa se prema sljedećoj jednadžbi:

$$T(Z \rightarrow B) = T(C \rightarrow D) - T(B \rightarrow A) = 1,54 - 1,29 = 0,25h.$$

Udaljenost točke Z i točke B stoga iznosi:

$$D(Z \rightarrow B) = 0,25[h] \times 185[kt] = 46,25 \approx 46NM.$$

Budući da je trajanje leta od točke Z do točke B do točke A jednako trajanju leta od točke C do točke D, zaključuje se da je pozicija kritične točke između točke Z i točke C. Da bi se odredila pozicija kritične točke, potrebno je odrediti udaljenost od točke Z do točke C i ona iznosi:

$$D(Z \rightarrow C) = 550 - 46 = 504NM.$$

Znajući da se CP nalazi negdje na etapi $Z \rightarrow C$, potrebno je odrediti *outbound* i *homebound* putne brzine i one iznose:

$$O = 200 + 15 = 215kt$$

$$H = 200 - 15 = 185kt.$$

Udaljenost kritične točke od točke Z računa se prema formuli (19):

$$D(Z \rightarrow CP) = \frac{H \times D}{O + H} = \frac{185 \times 504}{215 + 185} \approx 233NM.$$

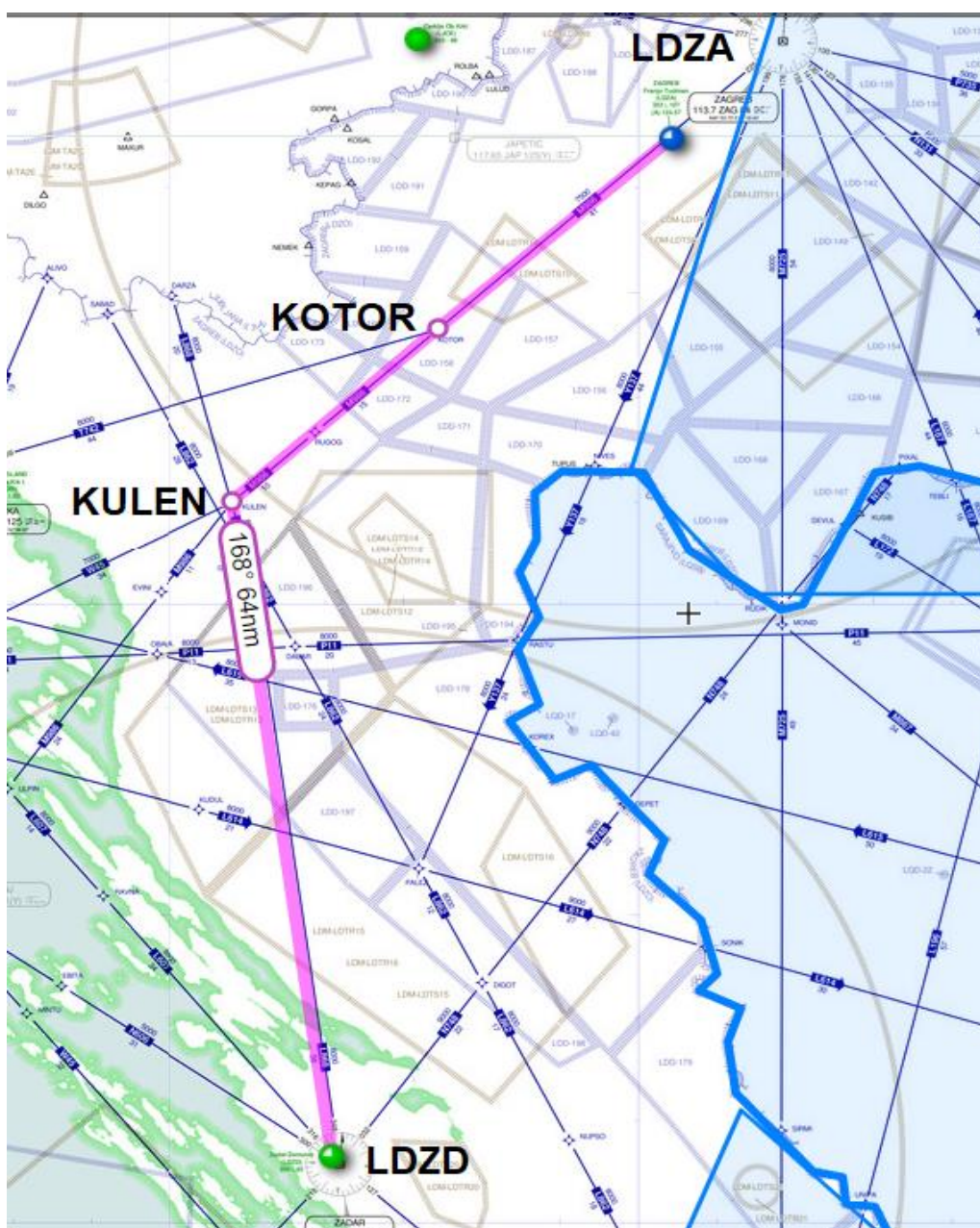
Konačna udaljenost kritične točke i vrijeme trajanja leta iznose:

$$D(A \rightarrow CP) = 270 + 46 + 233 = 549NM,$$

$$T(A \rightarrow CP) = \frac{270}{190} + \frac{46}{215} + \frac{233}{215} = 2,72h.$$

4. Navigacijska priprema leta

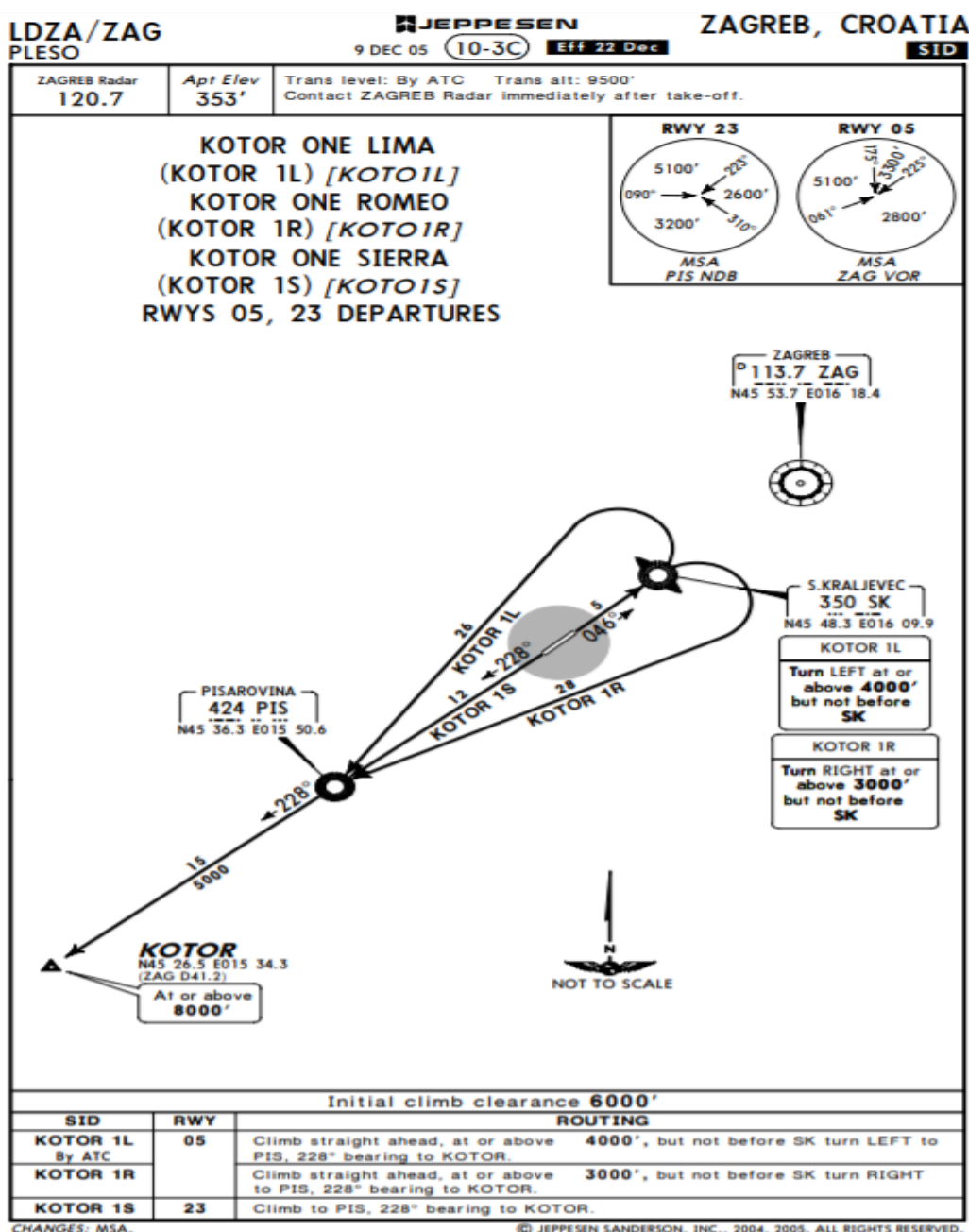
Za primjer navigacijske pripreme leta prvo je potrebno odabrati rutu leta i u ovom slučaju će to biti let od zračne luke Zagreb (ICAO kod LDZA) (engl. *International Civil Aviation Organization* – ICAO) do zračne luke Zadar-Zemunik (ICAO kod LDZD). Pravila leta za ovaj primjer će biti instrumentalna i zbog toga će se koristiti instrumentalne karte zračnih puteva. Na slici 12 prikazana je ruta ovog primjera na karti nižih zračnih puteva u Republici Hrvatskoj.



Slika 12. Prikaz odabrane rute, [14]

4.1. SID i STAR procedure

Sam odabir rute nije dovoljan budući da se radi o instrumentalnim pravilima letenja. Potrebno je odrediti standardnu odlaznu proceduru (engl. *Standard Instrument Departure* – SID) koja povezuje aerodrom polazišta s prvom točkom preletišta na ruti, standardni dolazak (engl. *Standard Arrival* – STAR) koji povezuje zadnju točku preletišta na ruti i preletišće početnog prilaza (engl. Initial Approach Fix – IAF) te prilaznu proceduru (engl. Approach – APP). Standardna odlazna procedura i standardni dolazak prikazani su na slikama 13 i 14.



Slika 13. Prikaz standardne odlazne procedure – KOTOR1S, [15]

LDZD/ZAD
ZEMUNIK

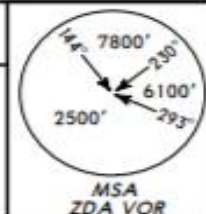
JEPPESEN
21 OCT 05 10-2 Eff 27 Oct

ZADAR, CROATIA
STAR

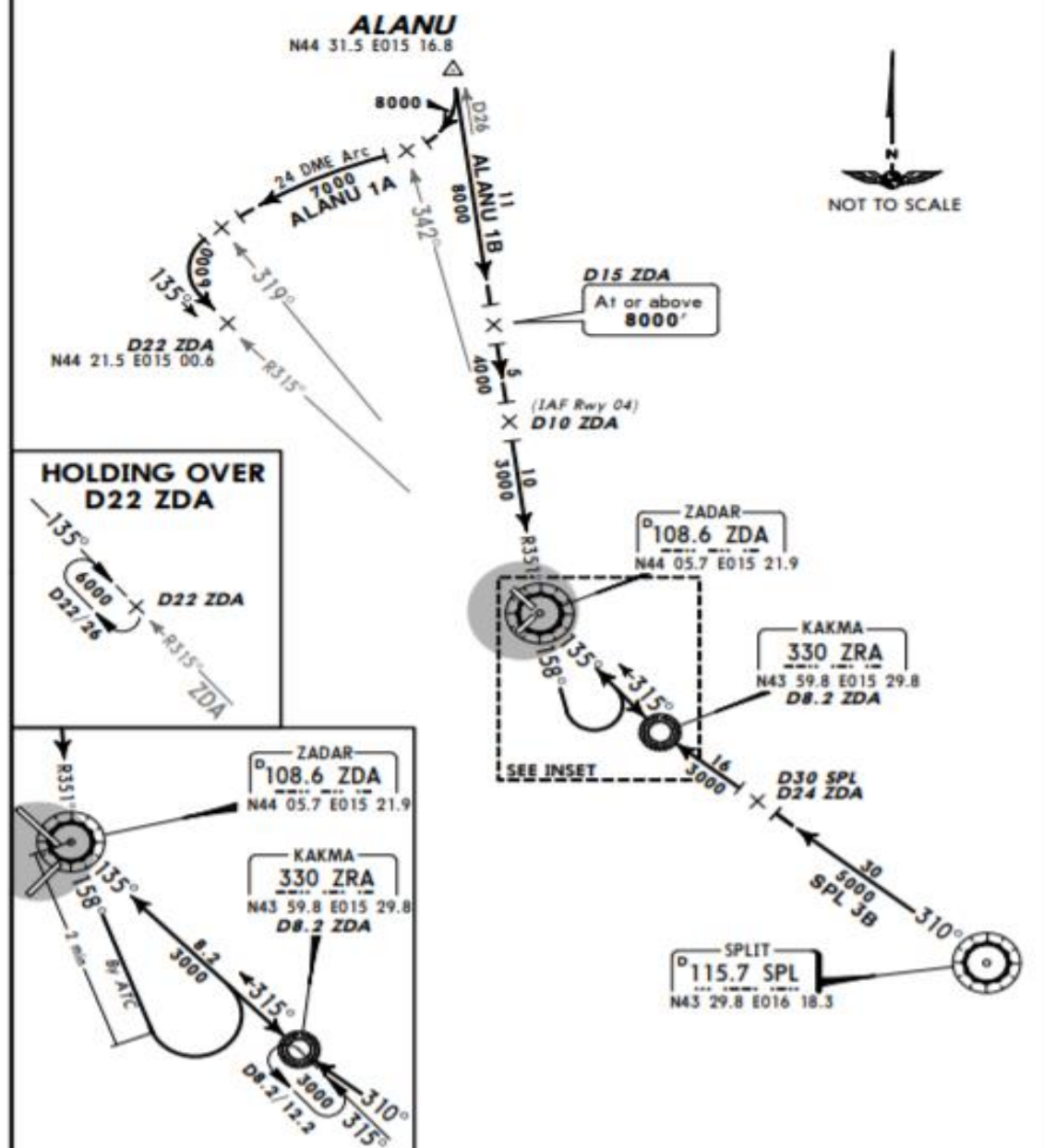
Apt Elev
289'

Alt Set: hPa Trans level: By ATC Trans alt: 9500'

ALANU 1A [ALANIA]
ALANU 1B [ALANIB], SPL 3B
RWYS 04, 14, 32 ARRIVALS
FROM NORTH & SOUTH
SPEED MAX 250 KT BELOW FL100



CAUTION: During northeastern wind strong turbulence possible.



CHANGES: STARs renamed & revised.

© JEPPESEN SANDERSON, INC., 2003, 2005. ALL RIGHTS RESERVED.

Slika 14. Prikaz standardnog dolaska - ALANU1B, [16]

Također je potrebno odrediti minimalne visine na ruti (engl. *Minimum En-route Altitude* – MEA) jer one osiguravaju sigurno nadvisivanje prepreka i prijem signala radionavigacijskog sredstva u svakom trenutku. Zrakoplov koji se koristi u ovom primjeru je Cessna 172R čiji je plafon leta 14000 stopa i zbog toga je odabrana visina leta 10000 stopa odnosno FL100 jer je ta visina između MEA koja iznosi 8000 stopa i plafona leta samog zrakoplova.

4.2. Izračun kursova i udaljenosti

Svi kursovi se iščitavaju s instrumentalnih karata i određeni su u odnosu na magnetski sjever. Kursovi i udaljenosti za ovaj primjer prikazani u tablici 2.

Tablica 2. Magnetski kursovi i udaljenosti pojedinih segmenata na ruti

SEGMENT RUTE	MAGNETSKI KURS LETA
LDZA-KOTOR	228°
KOTOR-KULEN	228°
KULEN-GISER	160°
GISER-LDZD	169°

Izvor: [15]

4.3. Stvarna brzina zrakoplova

Stvarna brzina zrakoplova računa se pomoću formule (20):

$$TAS = IAS + 2\% \times \frac{\text{visina leta}}{1000} \quad (20)$$

gdje je:

- *IAS* – indicirana brzina koja se prikazuje na brzinomjeru korigiranom za mehaničku grešku samog instrumenta (engl. *Indicated Air Speed*).

Formula 20 prikazuje da za svakih 1000 stopa visine TAS raste za 2% u odnosu na IAS. Tako će za let na 10000 stopa s planiranom indiciranom brzinom od 100kt, TAS iznositi 120kt.

4.4. Proračun kuta ispravke, kuta zanošenja i putne brzine zrakoplova

Da bi se izračunao kut zanošenja, najprije je potrebno odrediti maksimalni kut zanošenja u slučaju kada je upadni kut vjetra 90° . Maksimalni kut zanošenja računa se prema formuli (21):

$$DA_{max} = \frac{\text{brzina vjetra}}{TAS} \times 60 \quad (21)$$

gdje je:

- DA_{max} – maksimalni kut zanošenja.

Nakon izračuna maksimalnog kuta zanošenja, moguće je izračunati kut zanošenja za sve ostale upadne kutove vjetra. Kut zanošenja računa se prema formuli (22):

$$DA = DA_{max} \times \sin\beta \quad (22)$$

gdje je:

- DA – kut zanošenja
- $\sin\beta$ – vrijednost trigonometrijske funkcije upadnog kuta vjetra.

Za izračun kuta zanošenja potrebno je poznavati aproksimacije i vrijednost trigonometrijskih funkcija prikazanih u tablici 3.

Tablica 3. Aproksimacija upadnog kuta vjetra i vrijednost trigonometrijskih funkcija

Upadni kut β	Aproksimacija β	$\sin\beta$	$\cos\beta$
0° - 20°	0°	0	1
21° - 35°	30°	0,5	0,9
36° - 50°	45°	0,7	0,7
51° - 70°	60°	0,9	0,5
71° - 90°	90°	1	0

Poznavajući kut zanošenja uz pretpostavku da je kut ispravke (engl. *Correction Angle* – CA) jednak kutu zanošenja, pomoću formule (23) moguće je odrediti pravac leta (engl. *Heading* – HDG). Izračun pravca leta nužan je zbog utjecaja vjetra kako bi zrakoplov ostao na zadanoj crti puta.

Kao što je obrađeno u prethodnim cjelinama, za izračun putne brzine zrakoplova potrebno je poznavati uzdužnu komponentu vjetra koja se računa prema formuli (23):

$$TWC = \text{brzina vjetra} \times \cos\beta \quad (23)$$

gdje je:

- *TWC* – uzdužna komponenta vjetra (engl. *Track Wind Component*).

U sljedećem koraku biti će prikazan navigacijski proračun za sve 4 etape planirane rute. Smjerovi i brzine vjetra su proizvoljni. Navigacijski proračun za ovu rutu je:

- a) Segment leta:** LDZA - KOTOR
- Visina krstarenja: 10 000ft
 - Indicirana brzina: 100kt
 - Stvarna brzina: prema formuli (20):
$$TAS = 100 + 2\% \times \frac{10000}{1000} = 120kt$$
 - Vjetar: 250°/15kt
 - Kurs leta: 228°
 - Upadni kut vjetra β : 22° (desni čeon), aproksimirano 30°
 - Maksimalni kut zanošenja: prema formuli (21): $DA_{max} = \frac{15}{120} \times 60 \approx 8^\circ$
 - Kut zanošenja: prema formuli (22):
$$DA = 8 \times \sin 30^\circ = 8 \times 0,5 = 4^\circ L \text{ (lijevo)}$$
 - Kut ispravke: 4° D (desno)
 - Pravac leta: $HDG = 228^\circ + 4^\circ = 232^\circ$
 - *TWC*: prema formuli (23):
$$TWC = 15kt \times \cos 30^\circ = 15 \times 0,9 \approx 14kt$$
 - *GS*:
$$GS = 120kt - 14kt = 106kt$$
- b) Segment leta:** KOTOR - KULEN
- Visina krstarenja: 10 000ft
 - Indicirana brzina: 100kt
 - Stvarna brzina: prema formuli (20):
$$TAS = 100 + 2\% \times \frac{10000}{1000} = 120kt$$
 - Vjetar: 250°/15kt
 - Kurs leta: 228°
 - Upadni kut vjetra β : 22° (desni čeon), aproksimirano 30°

- Maksimalni kut zanošenja: prema formuli (21): $DA_{max} = \frac{15}{120} \times 60 \approx 8^\circ$
- Kut zanošenja: prema formuli (22):
 $DA = 8 \times \sin 30^\circ = 8 \times 0,5 = 4^\circ$ L (lijevo)
- Kut ispravke: 4° D (desno)
- Pravac leta: $HDG = 228^\circ + 4^\circ = 232^\circ$
- TWC: prema formuli (23):
 $TWC = 15kt \times \cos 30^\circ = 15 \times 0,9 \approx 14kt$
- GS: $GS = 120kt - 14kt = 106kt$

c) Segment leta: KULEN - GISER

- Visina krstarenja: 10 000ft
- Indicirana brzina: 100kt
- Stvarna brzina: prema formuli (20):
 $TAS = 100 + 2\% \times \frac{10000}{1000} = 120kt$
- Vjetar: $195^\circ/10kt$
- Kurs leta: 160°
- Upadni kut vjetra β : 35° (desni čeon), aproksimirano 30°
- Maksimalni kut zanošenja: prema formuli (21): $DA_{max} = \frac{10}{120} \times 60 = 5^\circ$
- Kut zanošenja: prema formuli (22):
 $DA = 5 \times \sin 30^\circ = 5 \times 0,5 = 2,5^\circ \approx 3^\circ$
L(lijevo)
- Kut ispravke: 3° D (desno)
- Pravac leta: $HDG = 160^\circ + 3^\circ = 163^\circ$
- TWC: prema formuli (23):
 $TWC = 10kt \times \cos 30^\circ = 10 \times 0,9 = 9kt$
- GS: $GS = 120kt - 9kt = 111kt$

d) Segment leta: GISER - LDZD

- Visina krstarenja: 10 000ft

- Indicirana brzina: 100kt
- Stvarna brzina: prema formuli (20):

$$TAS = 100 + 2\% \times \frac{10000}{1000} = 120kt$$
- Vjetar: 250°/20kt
- Kurs leta: 169°
- Upadni kut vjetra β : 81° (desni čeon), aproksimirano 90°
- Maksimalni kut zanošenja: prema formuli (21): $DA_{max} = \frac{20}{120} \times 60 \approx 10^\circ$
- Kut zanošenja: prema formuli (22):

$$DA = 10 \times \sin 90^\circ = 10 \times 1 = 10^\circ \text{ L (lijevo)}$$
- Kut ispravke: 10° D (desno)
- Pravac leta: $HDG = 169^\circ + 10^\circ = 179^\circ$
- TWC: prema formuli (23):

$$TWC = 20kt \times \cos 90^\circ = 20 \times 0 = 0kt$$
- GS: $GS = 120kt$

Radi preglednijeg prikaza, kutovi zanošenja, ispravke, pravca leta i putne brzine prikazani su u tablici 4.

Tablica 4. Prikaz kutova zanošenja, ispravke, pravca leta i putne brzine

Segment rute	Vjetar (°/kt)	Magnetski kurs	Upadni kut β	Kut zanošenja	Kut ispravke	Pravac leta	TWC	GS
LDZA-KOTOR	250/15	228°	22°	4° L	4° D	232°	14kt	106kt
KOTOR-KULEN	250/15	228°	22°	4° L	4° D	232°	14kt	106kt
KULEN-GISER	195/10	160°	35°	3° L	3° D	163°	9kt	111kt
GISER-LDZD	250/20	169°	81°	10° L	10° D	179°	0kt	120kt

Duljine pojedinih etapa zadane su u tablici 5.

Tablica 5. Duljine pojedinih etapa

Segment rute	Duljina etape
LDZA-KOTOR	28NM
KOTOR-KULEN	25NM
KULEN-GISER	6NM
GISER-LDZD	58NM

Izvor: [14]

4.5. Proračun vremena trajanja leta pojedinih etapa i potrošenog goriva

Vrijeme trajanja leta pojedine etape ovisi o duljini etape i putnoj brzini zrakoplova.

Sektorsko vrijeme računa se prema formuli (24):

$$\text{Sektorsko vrijeme} = \frac{\text{duljina etape}}{GS} \times 60 \quad (24)$$

Koristeći podatke iz tablice 4 i tablice 5 prema formuli (24) dobiveni su podaci o sektorskom vremenu svake etape. Dobiveni podaci prikazani su u tablici 6.

Tablica 6. Sektorska vremena pojedinih etapa

Segment rute	Sektorsko vrijeme (min)
LDZA-KOTOR	16
KOTOR-KULEN	14
KULEN-GISER	3
GISER-LDZD	29
Ukupno vrijeme	62

Za jednomotorne klipne zrakoplove podaci o spuštanju se ne izračunavaju jer se smatraju segmentom rute.

Prema Pilotskom operativnom priručniku Cessne 172R [17] podaci o performansama krstarenja na visini od 10000 stopa iznose:

a) pri standardnoj temperaturi:

- postotak snage motora: 72%
- stvarna brzina krstarenja: 120kt

- potrošnja goriva: 8,2 galona po satu

b) pri 20°C iznad standardne temperature:

- postotak snage motora: 68%
- stvarna brzina krstarenja: 120kt
- potrošnja goriva: 7,8 galona po satu. [

Temperatura koja prevladava na planiranoj ruti je uzeta proizvoljno i ona iznosi 5°C te je zbog toga potrebno interpolacijom odrediti podatke o performansama krstarenja za temperaturu 10°C veću od standardne (standardna temperatura na visini od 10000 stopa je -4,8°C) i oni iznose:

- postotak snage motora: 70%
- stvarna brzina krstarenja: 120kt
- potrošnja goriva: 8 galona po satu.

Gorivo potrošeno po svakom segmentu rute računa se prema formuli (25):

$$\text{Gorivo po segmentu rute} = \frac{FF}{60} \times \text{sektorsko vrijeme.} \quad (25)$$

Podaci o gorivu potrebnom za svaku etapu rute prikazani u tablici 7.

Tablica 7. Gorivo potrebno za let na svakoj etapi rute

Segment rute	Potrebno gorivo (gal)
LDZA-KOTOR	2,13
KOTOR-KULEN	1,87
KULEN-GISER	0,4
GISER-LDZD	3,87
Ukupno	8,27

4.6. Izračun pozicije točke bez povratka

Za izračun pozicije točke bez povratka prvo je potrebno izračunati vremena trajanja leta u odlasku i povratku. Radi jednostavnosti izračuna uzima se sigurna istrajnost leta od 80 minuta. Sektorska vremena zadana su u tablici 6, no ona se odnose na let

zrakoplova u odlasku. Koristeći formulu (24) dobivena su sektorska vremena za zrakoplov u povratku. Podaci o sektorskim vremenima navedeni su u tablici 8.

Tablica 8. Sektorska vremena leta u povratku zrakoplova

Segment rute	Sektorska vremena (min)
KOTOR-LDZA	12,5
KULEN-KOTOR	11,2
GISER-KULEN	2,8
LDZD-GISER	29
Ukupno	55,5

Kada se od sigurne istrajnosti leta oduzme suma vremena od LDZA do GISER i nazad dobije se vrijeme od 20,5 minuta. To znači da se PNR nalazi na zadnjoj etapi leta. Vrijeme leta od GISER do PNR računa se prema formuli (1) i ono iznosi:

$$T(GISER \rightarrow PNR) = \frac{E \times H}{O + H} = \frac{20,5 \times 120}{120 + 120} \approx 10 \text{ min} \approx 0,17h$$

Ukupno vrijeme od LDZA do PNR jednako je:

$$T(LDZA \rightarrow PNR) = 16 + 14 + 3 + 10 = 43 \text{ min.}$$

Udaljenost od GISER do PNR iznosi:

$$D(GISER \rightarrow PNR) = 120 \times 0,17 = 20,4NM.$$

Ukupna udaljenost PNR od LDZA iznosi:

$$D(LDZA \rightarrow PNR) = 28 + 25 + 6 + 20,4 = 79,4NM.$$

4.7. Izračun pozicije kritične točke

Da bi izračun pozicije kritične točke bio moguć, potrebno je uvesti točku X koja će podijeliti zadnju etapu GISER-LDZD na dva dijela. Točka X je proizvoljno smještena na devetoj minuti etape. Točka X je dodana jer je poznato da se kritična točka nalazi negdje na etapi GISER-LDZD i radi izračuna ju je potrebno podijeliti na dva manja dijela. Također je potrebno odrediti i točku Z. Točka Z je bitna za izračun pozicije kritične točke jer vrijeme trajanja leta u povratku od GISER do LDZA je jednako trajanju leta od točke Z do LDZD ako zrakoplov nastavi let od kritične točke prema aerodromu odredišta. Potrebno je izračunati vrijeme trajanja leta od točke Z do točke X i ono se računa prema sljedećoj jednadžbi:

$$T(GISER \rightarrow LDZA) = T(Z \rightarrow X) + T(X \rightarrow LDZD)$$

$$T(Z \rightarrow X) = T(GISER \rightarrow LDZA) - T(X \rightarrow LDZD)$$

$$T(Z \rightarrow X) = 26,5 - 20 = 6,5min.$$

Udaljenost točke Z od točke X iznosi:

$$D(Z \rightarrow X) = 120kt \times \left(\frac{6,5}{60}\right) = 13NM,$$

a budući da je udaljenost od točke X do LDZD:

$$D(X \rightarrow LDZD) = 120 \times 0,333 = 40NM,$$

konačno se dobije da je udaljenost od GISER do točke Z:

$$D(GISER \rightarrow Z) = 58 - (40 + 13) = 5NM.$$

Udaljenost kritične točke od točke Z računa se prema formuli (19):

$$D(GISER \rightarrow CP) = \frac{H \times D}{O + H} = \frac{120 \times 5}{120 + 120} = 2,5NM.$$

Konačna udaljenost kritične točke od LDZA iznosi:

$$D(LDZA \rightarrow CP) = 59 + 2,5 = 61,5NM.$$

Vrijeme trajanja leta od LDZA do CP je:

$$T(LDZA \rightarrow CP) = \left(\frac{16}{60}\right) + \left(\frac{14}{60}\right) + \left(\frac{3}{60}\right) + \left(\frac{2,5}{120}\right) = 0,57h = 34,25min.$$

5. Zaključak

Točka sigurnog povratka i kritična točka neizostavan su parametar u navigacijskoj pripremi leta s izoliranim aerodromom odredišta. Kao što je već opisano, točka sigurnog povratka je najudaljenija točka na ruti do koje zrakoplov može letjeti i sigurno se vratiti na aerodrom s kojeg je poletio. Drugim riječima, točka sigurnog povratka je pilotova zadnja šansa da procijeni vjerojatnost i odluči hoće li nastaviti let i sigurno sletjeti na aerodrom odredišta ili će izvršiti diverziju i letjeti prema alternativnom aerodromu. Ako postoji bilo kakva sumnja da zrakoplov neće uspjeti sigurno sletjeti na aerodrom odredišta, pilot je dužan krenuti prema alternativnom aerodromu.

Izračun pozicije točke sigurnog povratka može se prikazati pomoću udaljenosti na ruti od aerodroma polazišta ili pomoću vremena. Postoje različite metode za izračun pozicije točke sigurnog povratka, a dvije koje su obrađene u ovom radu su izračun pomoću putnih brzina zrakoplova koje ovise o vjetru koji djeluje na zrakoplov i pomoću potrošnje goriva koja može biti različita tijekom leta.

Vjetar je općenito bitan faktor u navigacijskoj pripremi leta, a u ovom radu opisano je kako on specifično djeluje na poziciju točke sigurnog povratka kao i kritične točke. Točka sigurnog povratka će biti najudaljenija na ruti kada na zrakoplov ne djeluje vjetar. Djelovanje vjetra na zrakoplov dovodi do smanjenja udaljenosti točke sigurnog povratka i što je utjecaj vjetra veći, to će točka sigurnog povratka biti bliža aerodromu polazišta. Također, najviše vremena da dođe do točke sigurnog povratka će zrakoplovu trebati kada na njega djeluje čeonu komponenta vjetra, a najmanje kada na njega djeluje leđna komponenta vjetra.

Točka jednakog vremena ili kritična točka je točka na ruti gdje će vrijeme trajanja leta od te točke do aerodroma polazišta i vrijeme trajanja leta od te točke do aerodroma odredišta biti jednako. Kritična točka ne ovisi o potrošnji goriva već ovisi o vjetru koji utječe na putne brzine zrakoplova u povratku od kritične točke i u nastavku leta. U savršenim uvjetima bez vjetra, kritična točka se nalazi točno na polovici rute, ali u stvarnosti se pomiče u ovisnosti o smjeru i jačini vjetra. Iz ovoga rada zaključeno je da se kritična točka, u uvjetima kada na zrakoplov djeluje vjetar, pomiče u smjeru suprotnom od smjera puhanja vjetra. Što je uzdužna komponenta vjetra koja djeluje na zrakoplov veća, to se kritična točka više pomiče u smjer suprotan od smjera puhanja vjetra.

Položaj kritične točke potrebno je izračunati i u slučaju ako dođe do otkaza motora. Izračun udaljenosti kritične točke u slučaju jednog neoperativnog motora temelji se na korištenju stvarne brzine zrakoplova s jednim neoperativnim motorom, a izračun vremena na korištenju stvarne brzine zrakoplova sa svim operativnim motorima.

LITERATURA

- [1] Oxford Aviation Academy. Flight Planning and Monitoring. Oxford: Oxford Aviation Academy, 2008.
- [2] Wikiknjige. Preuzeto sa: https://hr.wikibooks.org/wiki/Knjiga_pojmova_u_zrakoplovstvu [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [3] EASA. Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Annex IV – Part-Cat. European Aviation Safety Agency, 2016.
- [4] Paradise Air Safaris. Preuzeto sa: https://www.airsafaris.com.au/general_info/pnrcp.htm?fbclid=IwAR0vwT1ZYoWvE_sBEFM1xfF0ErsDcezJhWOjF8J9SC47jShn4T1Uj38lc_k [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [5] Moodle.Srce.hr. Preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3836047/mod_resource/content/0/PSR_dio%202.mp4?fbclid=IwAR2jL5w0X8HUc6p_THnpzxhOS44S4FTDwNBNvWfcakWwAeCQV1AGOTQ6_f0 [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [6] Moodle.Srce.hr. Preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3836105/mod_resource/content/0/PSR_dio%203.mp4?fbclid=IwAR3tSSxJbZqf_9Ik9tXCDe_SJ0AH1UQaTja7UDh1qvfilY8QqoQa0KZGrlc [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [7] Moodle.Srce.hr. Preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3836020/mod_resource/content/0/PSR_dio%204.mp4 [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [8] Moodle.Srce.hr. Preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3836117/mod_resource/content/0/PSR_dio%206.mp4 [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [9] Moodle.Srce.hr. Preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3836123/mod_resource/content/0/PSR_dio%208.mp4 [Pristupljeno: kolovoz 2020.]

- [10] Moodle.Srce.hr. Preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3839471/mod_resource/content/0/CP_dio%201.mp4
[Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [11] Moodle.Srce.hr. Preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3839506/mod_resource/content/0/CP_dio%202.mp4
[Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [12] Moodle.Srce.hr. Preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3839514/mod_resource/content/0/CP_dio%203.mp4
[Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [13] Moodle.Srce.hr. Preuzeto sa: https://moodle.srce.hr/2019-2020/pluginfile.php/3839531/mod_resource/content/0/CP_dio%204.mp4
[Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [14] Skyvector. Preuzeto sa: <https://skyvector.com/> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [15] Matraair.. Preuzeto sa: <http://www.matraair.hu/charts/LDZA.pdf> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [16] Fly-sea. Preuzeto sa: <http://fly-sea.com/pcenter/charts/LDZD.pdf> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [17] Pilot's Operatin Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual The Cessna Aircraft Company, Revision 9-19, 2004

POPIS KRATICA

APP	(Approach) prilazna procedura
CP	(Critical Point) kritična točka
E	(Endurance) istrajnost leta
ETA	(Estimated Time of Arrival) planirano vrijeme dolaska
ETOPS	(Extended Range Twin Operations) operacije dvomotornih zrakoplova produženog dometa
FFA	(Flight Fuel Available) raspoloživo gorivo za let
FOB	(Usable Fuel On Bord) ukrcano gorivo
FR	(Fuel Required) potrebno gorivo za let
GS	(Ground Speed) putna brzina zrakoplova
GSFF	(Ground Specific Fuel Flow) specifična potrošnja goriva u odnosu na zemlju
HWC	(Head Wind Component) čeona komponenta vjetra
IAF	(Initial Approach Fix) preletište početnog prilaza
IAS	(Indicated Air Speed) indicirana brzina koja se prikazuje na brzinomjeru korigiranom za mehaničku grešku samog instrumenta
ICAO	(International Civil Aviation Organization) Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva
IFR	(Instrument Flight Rules) instrumentalna pravila letenja
MEA	(Minimum En-route Altitude) minimalne visine na ruti
MFC	(Mean Fuel Consumption) srednja potrošnja goriva
NM	(Nautical Mile) nautička milja
PET	(Point of Equal Time) točka jednakog vremena
PNR	(Point of No Return) točka bez povratka
PSR	(Point of Safe Return) točka sigurnog povratka

SE	(Safe Endurance) sigurna istrajnost leta
SFC	(Specific Fuel Consumption) specifična potrošnja goriva
SFF	(Specific Fuel Flow) specifična potrošnja goriva
SID	(Standard Instrument Departure) standardna odlazna procedura
STAR	(Standard Arrival) standardni dolazak
TAS	(True Airspeed) stvarna brzina zrakoplova
TWC	(Tail Wind Component) leđna komponenta vjetra
TWC	(Track Wind Component) uzdužna komponenta vjetra

POPIS SLIKA

Slika 1. Prikaz putanje leta zrakoplova.....	3
Slika 2. Transponiranje formule na navigacijsko računalo, [1]	4
Slika 3. Skica primjera izračuna točke bez povratka	7
Slika 4. Skica primjera izračuna točke bez povratka u slučaju da se alternativni aerodrom nalazi na putanji leta između aerodroma polazišta i aerodroma odredišta .	9
Slika 5. Skica rute s tri etape i prikaz vremena leta u odlasku i povratku	11
Slika 6. Prikaz putanje leta zrakoplova s kritičnom točkom	16
Slika 7. Prikaz utjecaja vjetra na poziciju kritične točke.....	18
Slika 8. Skica rute leta zrakoplova za primjer 9.....	18
Slika 9. Skica primjera 9.....	19
Slika 10. Skica primjera 10 - izračun pozicije kritične točke na ruti s više etapa	20
Slika 11. Skica primjera 10 – točka Z	20
Slika 12. Prikaz odabrane rute, [14]	22
Slika 13. Prikaz standardne odlazne procedure – KOTOR1S.....	23
Slika 14. Prikaz standardnog dolaska - ALANU1B, [16].....	24

POPIS TABLICA

Tablica 1. Podaci za primjer 10.....	19
Tablica 2. Magnetski kursovi i udaljenosti pojedinih segmenata na ruti	25
Tablica 3. Aproksimacija upadnog kuta vjetra i vrijednost trigonometrijskih funkcija	26
Tablica 4. Prikaz kutova zanošenja, ispravke, pravca leta i putne brzine	29
Tablica 5. Duljine pojedinih etapa.....	30
Tablica 6. Sektorska vremena pojedinih etapa	30
Tablica 7. Gorivo potrebno za let na svakoj etapi rute	31
Tablica 8. Sektorska vremena leta u povratku zrakoplova.....	32



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ završnog rada

pod naslovom **Navigacijska priprema rute proračunom značajnih putnih točaka**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, _____ 15.09.2020. _____

Student:

Daniil Vukelić

(potpis)