

Primjena postupaka snižavanja pri otkazu jednog motora

Katavić, 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:119:821112>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-12**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

DOMINIK KATAVIĆ

**PRIMJENA POSTUPAKA SNIŽAVANJA PRI
OTKAZU JEDNOG MOTORA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 3. travnja 2020.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Planiranje letenja i performanse II**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5673

Pristupnik: **Dominik Katavić (0135249287)**
Studij: **Aeronautika**
Smjer: **Pilot**
Usmjerenje: **Vojni pilot**

Zadatak: **Primjena postupaka snižavanja pri otkazu jednog motora**

Opis zadatka:

Uvod. Definirati rutu i putne točke na ruti. Definirati segmente rute - penjanje, krstarenje i spuštanje te navigacijske elemente na ruti prema etapama. Odrediti profil leta i prepreke na ruti. Opisati postupke u slučaju otkaza jednog motora. Definirati pojmove net i gross gradijenta. Izračunati gradijente i minimalno nadvisivanje prepreka na ruti. Zaključak.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

prof. dr. sc. Doris Novak

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**PRIMJENA POSTUPAKA SNIŽAVANJA PRI
OTKAZU JEDNOG MOTORA**

**APPLICATION OF DESCENDING PROCEDURES WITH ONE
ENGINE INOPERATIVE**

Mentor: Prof. dr. sc. Doris Novak

Student: Dominik Katavić

JMBAG:0135249287

Zagreb, kolovoz 2020.

SAŽETAK

U ovom završnom radu opisani su postupci i procedure koje pilot upotrebljava ukoliko dođe do otkaza motora. Kada dođe do otkaza motora, potrebno je spustiti zrakoplov na prikladniju visinu leta kako bi operativan motor mogao biti učinkovit, prilikom tog spuštanja problem predstavljaju prepreke terena ispod putanje leta. Kako bi taj segment spuštanja prošao bez problema, prilikom planiranja rute se određuju prepreke uvećane za sigurnosnu marginu kako bi osigurale zrakoplovu sigurno nadvišavanje terena. Na primjeru zrakoplova Airbus A320 pokazana je Drift down procedura za spuštanje uz otkaz jednog motora, te kako Net i Gross putanja leta izgleda u odnosu na teren i nadvišavanje sigurnosne margine.

KLJUČNE RIJEČI: Drift down procedura; Net putanja leta; Gross putanja leta; otkaz motora

SUMMARY

This paper describes procedures used by pilot in case of an engine failure. With one engine inoperative, it is necessary to descent to more suitable flight level so that the operational engine can be effective. During this descent, terrain below the flight path can cause problem. It is necessary while planning the route that airplane can safely exceed the terrain increased for the safety margin. Drift down procedure for descending with one engine inoperative is shown on example of the Airbus A320, also how Net and Gross flight paths looks in relation to the terrain and exceeding the safety margin.

KEY WORDS: Drift down procedure; Net flight path; Gross flight path; engine failure

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. ZRAKOPLOVNA RUTA	2
2.1. Izbor zrakoplovne rute	2
2.2. Putne točke na ruti (Waypoints)	3
2.3. Navigacijski elementi rute	4
2.3.1. Kurs, smjer i pravac leta	4
2.3.2. Brzina leta	5
2.3.3. Visina leta	6
2.3.4. Vrijeme leta.....	7
3. SEGMENTI ZRAKOPLOVNE RUTE.....	8
3.1. Putanja polijetanja	8
3.1.1. Nadvišavanje prepreka	10
3.1.2. Horizontalna udaljenost od prepreka.....	11
3.2. Krstarenje	12
3.3. Penjanje i spuštanje zrakoplova.....	14
3.3.1. Penjanje zrakoplova.....	14
3.3.2. Spuštanje zrakoplova.....	17
4. IZVANREDNE SITUACIJE U KRSTARENJU	18
4.1. Otkaz motora	19
4.1.1. Drift Down procedura.....	19
4.1.2. Gross i Net Drift Down putanja leta.....	19
4.1.3. Otkaz motora na polijetanju	20
4.2. Nadvišavanje prepreka na ruti uz otkaz jednog motora	21
4.2.1. Horizontalna udaljenost od prepreka.....	21
4.2.2. Vertikalna udaljenost od prepreka.....	21
4.3. Planiranje rute s obzirom na izvanredni događaj	25
5. PRORAČUN DRIFT DOWN PROCEDURE ZA ZRAKOPLOV A320.....	26
5.1. Ruta i putne točke na ruti.....	26
5.2. Nadvišavanje prepreka po ruti.....	28
5.3. Proračun nadvišavanja prepreka.....	30

6. ZAKLJUČAK	33
LITERATURA	34
POPIS SLIKA	35
POPIS KRATICA	36
POPIS SIMBOLA	37

1. UVOD

Otkaz motora je realna situacija u zrakoplovstvu. Kada se desi takva situacija, potrebna je ispravna i unaprijed razrađena odluka pilota. U ovom završnom radu su opisane procedure koje je pilot u mogućnosti napraviti kako bi sigurno doveo zrakoplov na aerodrom, te alternativne mogućnosti za koje se pilot može odlučiti ukoliko nije moguć dolazak na planirani aerodrom.

Rad je podijeljen na 6 cjelina koje stvaraju sliku o konstruiranju i profilu leta, te putanji spuštanja uz otkaz jednog motora.

1. Uvod
2. Zrakoplovna ruta
3. Segmenti zrakoplovne rute
4. Izvanredne situacije u krstarenju
5. Proračun Drift down procedure za zrakoplov A320
6. Zaključak

U drugom poglavlju opisana je zrakoplovna ruta, kakve vrste postoje, te kako odabrati rutu za željeni let. Opisane su putne točke koje su značajne za uspješan let. Navigacijski elementi koji se koriste u zrakoplovstvu, te vrste brzina, visina i vremena.

Treće poglavlje opisuje segmente od kojih se sastoji zrakoplovna ruta. Općenito je opisano penjanja, krstarenje i spuštanje zrakoplova, te su opisana *Gross* i *Net* putanja polijetanja i elementi koji se vežu za iste.

Četvrto poglavlje opisuje otkaz motora u krstarenju, te drift down proceduru. Potrebna nadvišavanja terena i *Gross* i *Net* putanju *Drift down* procedure.

U petom poglavlju je na primjeru zrakoplova Airbus A320 pokazano planiranje rute, te konstruiranje profila leta. Drift down procedura, te nadvišavanje prepreka u odnosu na *Gross* i *Net* putanju leta.

2. ZRAKOPLOVNA RUTA

Utvrđena putanja u horizontalnoj ravnini kojom zrakoplovi prelijeću Zemljinu površinu, od kraja uzlijetanja i faze penjanja do početka faze prilaza i samog slijetanja.

2.1. Izbor zrakoplovne rute

Pri izboru zrakoplovne rute, u obzir se uzima veliki broj zahtjeva. Prvi najbitniji zahtjev je da odabrana ruta treba omogućiti najkraće trajanje leta uz minimalna skretanja.

Za letove prema vizualnim pravilima letenja potrebno je imati omogućeno sigurno vođenje vizualne navigacije, dok rute za letove prema instrumentalnim pravilima letenja trebaju omogućiti korištenje zemaljskih radionavigacijskih uređaja za sigurno upravljanje zrakoplova. Dodatni zahtjevi koji ulaze u obzir odabira rute odnose se na reljef iznad kojega se let odvija, te meteorološki uvjeti koji prevladavaju u tom području. Potrebno je izbjegavati područja nepovoljnih meteoroloških uvjeta kao što su zone zaleđivanja, olujne oblačnosti, prostori s jakom turbulencijom te visoki planinski predjeli [1].

Uz navedene zahtjeve, u obzir se uzimaju i zahtjevi ograničenja na rutama te ograničenja zračnog prostora države koja se nadlijeće. Postoje tri vrste ograničenog zračnog prostora.

- 1) Zabranjeno područje je zračni prostor koji se nalazi iznad kopnenih područja ili teritorijalnih voda države unutar kojeg je let zrakoplova u potpunosti zabranjen.
- 2) Uvjetno zabranjeno područje je zračni prostor koji se nalazi iznad kopnenih područja ili teritorijalnih voda države unutar koje je let zrakoplova ograničen u skladu s nekim specificiranim uvjetima.
- 3) Područje opasnosti je određeni dio zračnog prostora unutar kojeg se određenim terminima mogu obavljati različite aktivnosti koje su opasne za let zrakoplova [2].

Uvjetna ruta (engl. *conditional route* - CDR) je ATS (engl. *Air traffic service*) ruta ili dio rute koji može biti planiran i upotrebljen uz određene uvjete. CDR je određen u jednoj ili više sljedećih kategorija:

- Kategorija 1 je CDR koji se može stalno planirati za letenje,
- Kategorija 2 je CDR koji se ne može stalno planirati za letenje,
- Kategorija 3 je CDR koji se ne može planirati za letenje [3].

Uz navedena ograničenja države u čijem zračnom prostoru se odvija let, postoje ograničenja koja propisuju opremu potrebnu za prostornu navigaciju koja zadovoljava uvjete o zahtijevanoj navigacijskoj sposobnosti (engl. *required navigation performance* - RNP). Postoji više razina zahtijevane navigacijske sposobnosti. Republika Hrvatska zahtjeva dvije razine: RNP 5 i RNP 1, što bi značilo da za let objavljenim rutama za prostornu navigaciju zrakoplovi moraju biti opremljeni opremom koja zadovoljava RNP 5 te koja osigurava da bočno navigacijsko odstupanje od željene putanje leta ne iznosi više od ± 5 nautičkih milja (NM) tijekom 95% trajanja leta. Na rutama objavljenim za preciznu prostornu navigaciju, zrakoplovi moraju biti opremljeni opremom koja zadovoljava RNP 1 te osigurava da bočno navigacijsko odstupanje od željene putanje leta ne iznosi više od ± 1 NM tijekom 95% trajanja leta [4].

2.2. Putne točke na ruti (Waypoints)

Putna točka je definirana kao određena geografska pozicija koja definira prostornu navigacijsku (engl. *area navigation* - RNAV) rutu ili putanju leta zrakoplova koji se koristi metodom prostorne navigacije. Kreiranu putnu točku RNAV oprema na zrakoplovu prepoznaje kao radionavigacijsku postaju te omogućuje navigaciju i vođenje prema zadanom kursu. Kreirana putna točka služi kao čvorište i drugih zračnih puteva, što u velikoj mjeri rasterećuje zračni promet. Putna točka u metodi prostorne navigacije može biti definirana kao točka obaveznog preleta ili točka neobaveznog preleta [5].

Točka obaveznog preleta označuje mjesto početka uvođenja zrakoplova u zaokret radi zauzimanja elemenata sljedeće etape navigacijske rute ili instrumentalnog letnog postupka. Točka neobaveznog preleta zahtijeva unaprijed definirane elemente prije početka zaokreta koji određuju putanju leta da se omogući izlazak zrakoplova na sljedeću etapu navigacijske rute ili instrumentalnog letnog postupka[5].

2.3. Navigacijski elementi rute

2.3.1. Kurs, smjer i pravac leta

Navigacijska priprema leta važan je čimbenik u sveobuhvatnoj pripremi pilota prije svakog leta. Smanjenje vremena potrebnog za pripremu, dobivanje što iscrpnijih informacija potrebnih za siguran let te što preciznije vođenje zrakoplova po ruti danas su olakšani primjenom modernih navigacijskih instrumenata te ostale elektroničke opreme. Izračun navigacijskih elemenata neizostavan je dio pripreme i za ovaj rad nužno ih je definirati.

Osnovni pojmovi u zrakoplovnoj navigaciji kojima određujemo putanju i poziciju zrakoplova u prostoru su kurs, smjer i pravac leta [6].

Kurs leta je kut mjeren u smjeru kazaljke na satu od pravca sjevera do željene putanje leta zrakoplova iznad površine Zemlje. Kurs leta može biti pravi, magnetski i kompasni kurs, ovisno o tome na koji referentni sjever ga određujemo. Pravi kurs je kut između pravoga sjevera (N_T) i produžetka uzdužne osi zrakoplova (CK – crta kursa). Mjeri se od N_T do CK u smjeru kazaljke na satu od 000° do 360° . Magnetski kurs (N_M) je kut između magnetskoga sjevera N_M i crte kursa, a mjeri se od 000° do 360° [6].

Smjer leta je kut mjeren u smjeru kazaljke na satu od pravca sjevera do stvarne putanje zrakoplova u odnosu na površinu zemlje. Može se izraziti kao pravi, magnetski i kompasni ovisno o tome na koji referentni sjever ga određujemo [6].

Pravac leta je kut mjeren u smjeru kazaljke na satu od pravca sjevera do produljenog pravca uzdužne osi zrakoplova. Može se izraziti kao pravi, magnetski i kompasni ovisno o tome na koji referentni sjever ga određujemo [6].

Sve ove veličine izražavaju se u stupnjevima od 000° do 360° . Određivanje pravca sjevera vrši se u odnosu na pravi (geografski) sjever (N_T), magnetski sjever (N_M) i kompasni sjever (N_C). Varijacija (engl. *Variation* - VAR) je kutna razlika između pravog i magnetskog sjevera nastala kao posljedica nepodudaranja geografskih polova s magnetnim polovima. Devijacija (engl. *Deviation* - DEV) je kutna razlika između magnetskog i kompasnog sjevera nastala kao posljedica magnetizma zrakoplova koji utječe na ispravnost pokazatelja kompasu [6].

Prilikom crtanja pojedinih etapa rute na kartu mjere se pravi kutevi koji se zatim korigiraju za devijaciju i varijaciju te se na taj način dobije kompasni kurs leta. Svrha planiranja leta, u smislu određivanja smjera leta, je postizanje optimalne putanje za let između dvije točke, odnosno poklapanja traga leta s planiranim putnim kutom [6].

2.3.2. Brzina leta

Brzina je vektorska fizikalna veličina definirana kao prijeđeni put u jedinici vremena. U zrakoplovstvu mjeri se u čvorovima (engl. *Knot* - kt), a pilot podatak o postignutoj brzini zrakoplova očitava s brzinomjera. Brzinomjer brzinu zrakoplova u zraku računa na osnovu razlike ukupnog i statičkog tlaka mjerenih pomoću Pitot cijevi i statičkih otvora na zrakoplovu. U zrakoplovstvu postoji više brzina zbog raznih utjecaja na zrakoplov i pogrešaka u mjerenju. Razlikujemo instrumentalnu, indiciranu, kalibriranu, ekvivalentnu, stvarnu i putnu brzinu [6].

Instrumentalna brzina je brzina koju pilot očitava na instrumentu. Nije korigirana za grešku položaja ugradnje Pitot-statičkog sustava i grešku samog instrumenta [6].

Indicirana brzina (engl. *Indicated airspeed* - IAS) prikazana je na brzinomjeru koji je korigiran za mehaničku grešku instrumenta odnosno za grešku trenja unutar mehanizma [6].

Kalibrirana brzina (engl. *Calibrated airspeed* - CAS) rezultat je ispravke indicirane brzine za grešku položaja ugradnje Pitot-statičkog sustava [6].

Ekvivalentna brzina (engl. *Equivalent airspeed* - EAS) je rezultat ispravke kalibrirane brzine za utjecaj stlačivosti zraka, ovisno o visini na kojoj se zrakoplov nalazi [6].

Stvarna brzina (engl. *True airspeed* - TAS) dobivena je nakon korekcije ekvivalentne brzine za utjecaj gustoće zraka.

Putna brzina (engl. *Ground speed* - GS) je brzina zrakoplova u odnosu na Zemlju gdje je uračunat i utjecaj vjetra na putanju leta. Važno je spomenuti putnu brzinu koja nam određuje vrijeme trajanja pojedine etape na ruti u uvjetima koji prevladavaju [6].

2.3.3. Visina leta

Visina leta je okomita udaljenost zrakoplova od horizontalne razine koja se uzima kao temelj mjerenja te se mjeri u stopama (engl. *Feet* - ft). Važan je sigurnosni čimbenik leta u odnosu na reljef, ali i u odnosu na meteorološke elemente i pojave. Visina leta važan je faktor pri određivanju potrošnje goriva i istrajnosti. U zrakoplovstvu mjerenje visine obavlja se barometarskim visinomjerom koji podatke o visini dobiva preko statičkih otvora. Takva visina je visina prema tlaku. Bitno je napomenuti kako postoji nekoliko referentnih tlakova u odnosu na koje se vrši određivanje visine [6].

Apsolutna visina (engl. *Altitude*) vertikalna je udaljenost razine, točke ili objekta mjereno od srednje razine mora. Apsolutna visina dobiva se tako da se skala tlaka na visinomjeru postavi na vrijednost tlaka koji bi prema uvjetima standardne atmosfere (engl. *International Standard Atmosphere* - ISA) vladao na razini mora, kada je na poznatoj visini aerodroma poznata vrijednost tlaka zraka. Vrijednost tlaka ima oznaku QNH [6].

Razina leta (engl. *Flight level*) površina je stalnog atmosferskog tlaka određena u odnosu na specifičnu vrijednost tlaka od 1013,25 hPa. Razina leta dobiva se postavljanjem vrijednosti tlaka 1013,25 hPa na visinomjeru. Nulta razina leta je određena na razini atmosferskog tlaka od 1013,25 hPa i pri temperaturi +15 °C. Vrijednost tlaka ima oznaku QNE [6].

Stvarna visina (engl. *Height*) vertikalna je udaljenost razine, točke ili objekta koji se smatra točkom, mjereno od utvrđene vrijednosti. Utvrđena vrijednost najčešće je aerodrom polijetanja ili slijetanja. Tlak zraka koji postavljen na visinomjeru kako bi se odredila stvarna visina ima oznaku QFE [6].

Svaka država ima posebno određenu minimalnu visinu leta ispod koje je zabranjen let zrakoplovima. Odstupanje od tog pravila vrijedi jedino za slijetanje i polijetanje [6].

2.3.4. Vrijeme leta

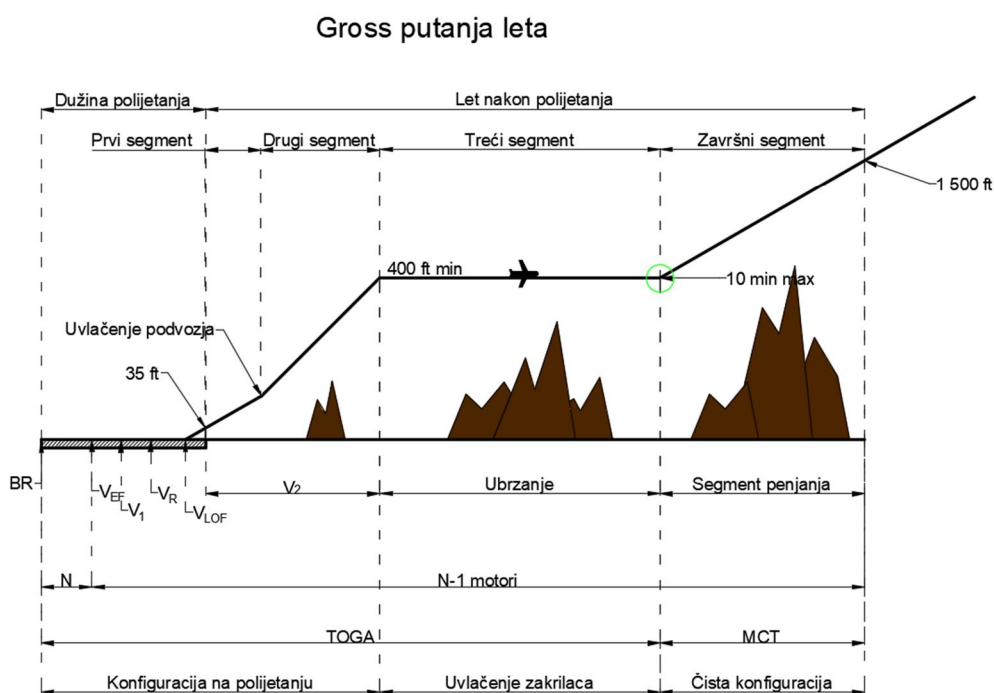
Određivanje preciznog položaja zrakoplova u prostoru uz poznat smjer i orijentaciju izvedivo je pomoću mjerenja vremena u navigaciji. U zrakoplovnoj navigaciji može se odrediti trenutak kada će zrakoplov biti iznad neke točke ili trajanje određene rute. Kod gubitka orijentacije stvarna pozicija zrakoplova može se utvrditi s obzirom na mjerenje proteklog vremena od zadnje poznate pozicije. Za potrebe navigacije vrijeme se izražava u satima i sekundama. Proračun vremena izuzetno je bitan i za proračun potrošnje goriva te za istrajnost leta koja se izražava u satima. Za referentnu vrijednost vremena uzima se srednje lokalno vrijeme na poziciji Greenwicha [6].

3. SEGMENTI ZRAKOPLOVNE RUTE

Tijekom planiranja i proračuna rute, posada konstruira rutu koja se sastoji od tri faze leta: putanja polijetanja i penjanje, segment krstarenja, spuštanje i prilaz za slijetanje.

3.1. Putanja polijetanja

Putanja polijetanja je put koji zrakoplov prijeđe od otpuštanja kočnica do visine 1500 ft iznad površine polijetanja, ili do točke prelaska na rutnu konfiguraciju leta, ovisno koja je veća. Putanja leta nakon polijetanja započinje na visini 35 ft iznad površine polijetanja. Definirana putanja polijetanja i letna putanja polijetanja pretpostavljaju da zrakoplov na tlu ubrzava do V_{ef} brzine, u tom trenutku kritičan motor postaje neoperativan i takav ostaje do kraja polijetanja. Potrebno je da zrakoplov s otkazom jednog motora postigne brzinu V_2 prije nego što dosegne visinu 35 ft iznad površine polijetanja, te nastavi penjati brzinom ne manjom od V_2 do visine 400 ft iznad površine za polijetanje. Brzina V_2 je brzina pri kojoj, u slučaju otkaza kritičnog motora, moguće održavati zrakoplov pod kontrolom te postignuti performanse penjanja. Letna putanja polijetanja može se podijeliti u nekoliko segmenata. Svaki segment je karakterističan u promjeni konfiguracija u smislu promjene potiska i brzine zrakoplova. Putanja leta se mora temeljiti na performansama zrakoplova bez efekta tla, kao opće pravilo zrakoplov se smatra bez efekta tla kada postigne visinu jednaku njegovom rasponu krila [7].



Slika 1. Segmenti putanje polijetanja

Izvor: [7]

U prvom segmentu nakon postizanja V_{ef} , zrakoplov mora postići brzinu V_2 . Prilikom postizanja brzine V_2 , zrakoplov ne smije započeti rotaciju i podizanje prednjeg dijela stajnog trapa dok ne postigne brzinu V_R . Brzina V_R predstavlja brzinu rotacije zrakoplova. Gradijent penjanja mora biti pozitivan u svakom trenutku, a postignuta brzina V_2 se mora održati do postizanja 400 ft iznad površine za polijetanje [7].

Drugi segment započinje uvlačenjem stajnog trapa uz održavanje pozitivnog gradijenta penjanja koji ne smije biti manji od: 2,4% za dvomotorne zrakoplove, 2,7% za tromotorne zrakoplove i 3,0% za četveromotorne zrakoplove pri brzini V_2 uz jedan motor neoperativan, ostali motori postavljeni na snagu za polijetanje [7].

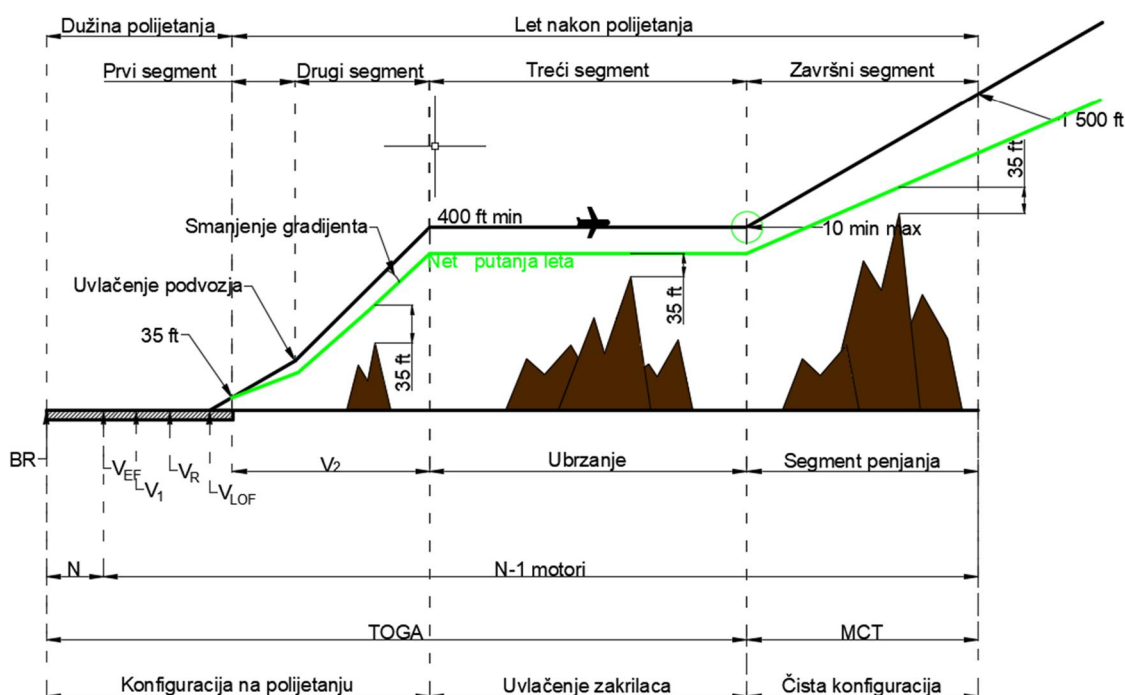
Treći segment je horizontalni segment, zrakoplov ubrzava za završni segment maksimalno 10 minuta, u svakom trenutku horizontalnog leta nadvišavanje prepreka mora biti osigurano, iz toga razloga visina horizontalnog segmenta je 400 ft ili veća. Maksimalna snaga za polijetanje (engl. *Maximum Takeoff Thrust* - TOGA) je dozvoljena za upotrebu maksimalno 10 minuta ukoliko se dogodio otkaz motora na polijetanju, a maksimalno 5 minuta ukoliko su svi motori ispravni [7].

Četvrti i završni segment je određen pozitivnim gradijentima penjanja koji ne smije biti manji od: 1,2% za dvomotorne zrakoplove, 1,5% za tromotorne zrakoplove i 1,7% za četveromotorne zrakoplove uz otkaz kritičnog motora i preostalih motora na maksimalnoj kontinuiranoj snazi. Maksimalna kontinuirana snaga (engl. *Maximum Continuous Thrust* - MCT) nije vremenski ograničena, upotrebljiva je samo kada su konfiguracije za krstarenje osigurane (zeleni točka) [7].

3.1.1. Nadvišavanje prepreka

Često se događa da su piste okružene preprekama koje se moraju uzeti u obzir prije polijetanja, te se mora ustanoviti da je zrakoplov u stanju nadvisiti iste. Okomita udaljenost između svake prepreke i zrakoplova na putanji se uzima u obzir. Ta udaljenost između prepreka i zrakoplova koja se temelji na smanjenju gradijenta penjanja dovodi nas do Bruto (engl. *Gross*) letne putanje i Neto (engl. *Net*) letne putanje. *Gross* letna putanja je stvarna putanja koji zrakoplov prolazi. *Net* letna putanja je *Gross* letna putanja umanjena za obavezan faktor (engl. *Gradient penalty*) koji iznosi: 0,8% za dvomotorne zrakoplove i 1,0% za četveromotorne zrakoplove.

Gradient penalty se uzima u obzir kroz svaki segment putanje polijetanja [7].



Slika 2. Gross i Net putanja leta

Izvor: [7]

Net putanja leta mora osigurati nadvišavanje svake prepreke za minimalno 35 ft. Za primjer uzimamo minimalni gradijent za dvomotorni zrakoplov tijekom drugog segmenta, koji iznosi 2,4%. Međutim kako *Net* gradijent propisuje nadvišavanje prepreka za minimalno 35 ft, događa se da gradijent drugog segmenta mora biti veći od 2,4%, samim time se mijenja maksimalna težina na polijetanju. Kada se sve prepreke uzmu u obzir, mora se izračunati maksimalna težina na polijetanju kako bi se zadovoljila *Net* putanja leta [7].

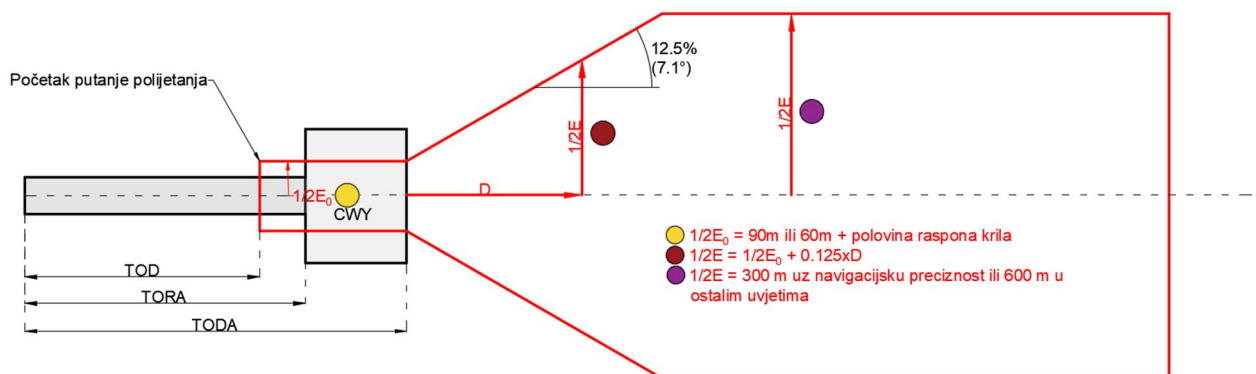
3.1.2. Horizontalna udaljenost od prepreka

Sektor odlaska je područje oko putanje leta unutar kojih se moraju nadvisiti sve prepreke pod pretpostavkom da su sve prepreke projicirane unutar zamišljene putanje leta.

EASA (European Union Aviation Safety Agency) nalaže u regulativi CAT.POL.A.210 da operator mora osigurati *Net* putanju leta sigurnu od svih prepreka, zahtjeva horizontalnu udaljenost od najmanje 90 metara + $0,125 \times D$, gdje je D horizontalna udaljenost koju je zrakoplov prešao od kraja dostupne udaljenosti za polijetanje (engl. *Take off distance available* – TODA) ili kraja TOD-e ukoliko je predviđen zaokret prije kraja dostupne udaljenosti za polijetanje. Za zrakoplove s rasponom krila manjim od 60 metara, horizontalna udaljenost od prepreka mora biti veličine polovice raspona krila zrakoplova + 60 metara + $0,125 \times D$ [8].

Za one slučajeve u kojima namjeravana putanja leta ne zahtijeva promjene putanje više od 15° , nije potrebno uzimati u obzir one prepreke koje imaju horizontalnu udaljenost od putanje leta veću od 300 metara, ako pilot može održavati traženu navigacijsku preciznost. Horizontalna udaljenost veća od 600 metara ne mora se uzeti u obzir za letove pod svim ostalim uvjetima [8].

Za one slučajeve u kojima namjeravana putanja leta zahtijeva promjene putanje više od 15° , nije potrebno uzimati u obzir one prepreke koje imaju horizontalnu udaljenost veću od 600 metara ako pilot može održavati navigacijsku preciznost, te 900 metara za letove u svim ostalim uvjetima. Potrebna navigacijska preciznost se dobiva pomoću navigacijskih pomagala ili orijentacijom pomoću vanjskih orijentira, tijekom uvjeta za vizualno letenje (engl. *Visual meteorological conditions* - VMC) uvjeta [8].



Slika 3. Sektor odlaska

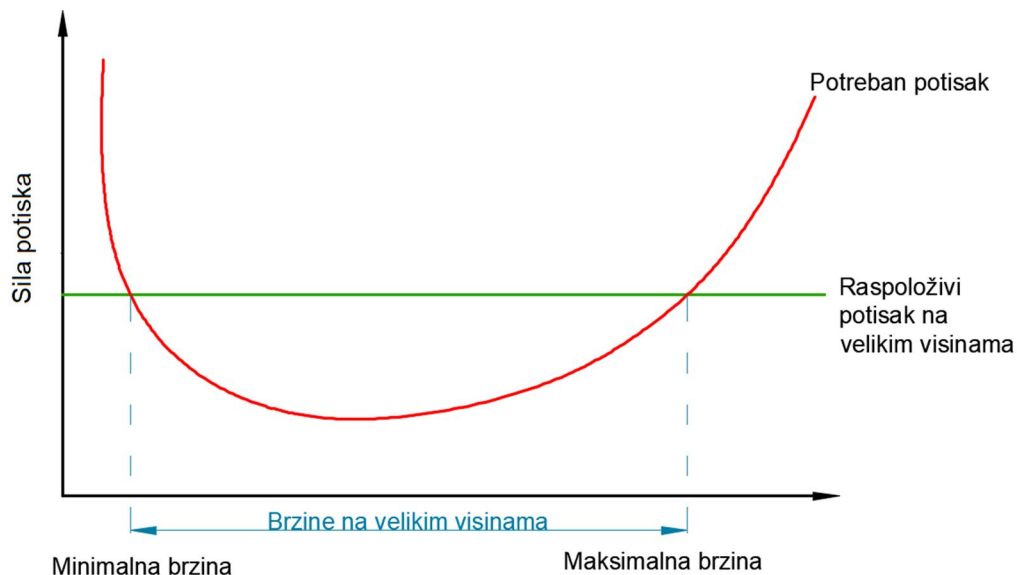
Izvor: [8]

3.2. Krstarenje

Krstarenje je segment zrakoplovne rute koji započinje završetkom faze penjanja i prelaskom na rutnu fazu leta, te traje do početka spuštanja zrakoplova. Tijekom tog segmenta zrakoplov se nalazi u horizontalnom, pravocrtном letu te se kreće konstantnom brzinom. Kako bi zrakoplov održao horizontalni pravocrtни let, četiri sile koje djeluju na njega moraju biti u ravnoteži [9].

Težina je sila koja djeluje kroz centar težišta zrakoplova i usmjerena je prema središtu Zemlje. Sila uzgona djeluje kroz centar potiska i usmjerena je suprotno od težine, te su te dvije sile u ravnoteži. Druge dvije sile koje djeluju na zrakoplov su sila potiska i sila otpora. Silu potiska proizvodi motor potiskivanjem mase zraka, dok je sila otpora ukupna reakcija na strujanje zraka [9].

Maksimalna brzina zrakoplova se postiže kada su sile potiska i otpora jednake. Nemoguće je u pravocrtном horizontalnom letu ubrzati više od toga, iz razloga što bi povećanjem brzine sila otpora bila veća od sile potiska. Na slici 4 se vidi još jedna točka gdje se sijeku sile potiska i otpora pri maloj brzini, to je točka minimalne brzine koja se može postići u horizontalnom pravocrtном letu [9].



Slika 4. Odnos brzine pri velikim visinama, [9]

Pri velikim brzinama i visinama, koristi se *Machov* (Ma) broj kao izraz za brzinu. *Machov* broj je omjer aerodinamičke brzine zrakoplova i brzine zvuka u zraku. Na razini mora u ISA uvjetima, brzina zvuka je 661 čvor, ukoliko zrakoplov putuje brzinom od 600 čvorova, tada je *Machov* broj u vrijednosti 0,9 kada bi povećali brzinu zrakoplova do 661 čvor, postigli bi 1 Ma i supersonični let. Brzina zvuka ovisi o temperaturi zraka, kako se visina povećava, temperatura pada i uzrokuje pad brzine zvuka. Pri visini od 30 000 ft brzina zvuka pada na 590 čvorova [9].

Dva parametra koji opisuju segment krstarenja su dolet i istrajnost. Dolet nam govori koliko udaljenosti u zraku možemo preletjeti s određenom količinom goriva. Ako želimo postignuti maksimalni mogući dolet, potrebno je letjeti na optimalnoj visini i pri optimalnoj brzini za određenu masu zrakoplova, mala odstupanja od optimalnih uvjeta ne utječu značajno na rezultat, ukoliko nemamo u cilju postići maksimalan dolet, možemo krstariti pri većim brzinama, sve do granice dostupnog potiska. Istrajnost zrakoplova nam govori koju količinu vremena zrakoplov može ostati u zraku na određenu količinu goriva, odnosno može se izraziti gorivom koje se koristi tijekom određenog vremena u zraku [9].

3.3. Penjanje i spuštanje zrakoplova

3.3.1. Penjanje zrakoplova

Penjanje je segment leta od kraja faze polijetanja do početka faze krstarenja. Tri ključna faktora opisuju penjanje zrakoplova, to su kut penjanja, brzina uzdizanja i gradijent penjanja [9].

Pri jednolikom penjanju težina ima komponentu duž smjera putanje leta što doprinosi sili otpora, ovisno o kutu penjanja. Što veći kut penjanja postavimo, veća komponenta težine će doprinositi sili otpora. Za održavanje ujednačene brzine duž putanje leta u penjanju, sile suprotnog smjera duž putanje moraju biti jednake po formuli:

$$T = D + W \sin \theta \quad \text{i} \quad \sin \theta = \frac{T-D}{W} \quad (1)$$

Pri planiranju leta, prikladnije je poznavati gradijent penjanja umjesto kuta penjanja. Gradijent penjanja je omjer visine i prijeđene horizontalne udaljenosti, odnosno tangens kuta penjanja.

$$\sin \theta \approx \tan \theta \approx \gamma \quad (2)$$

Stoga vrijedi da je gradijent penjanja:

$$\gamma \approx \frac{T - D}{W} \quad (3)$$

Iz ove jednadžbe vidimo da gradijent penjanja ovisi o višku potisne sile ($T - D$) i masi zrakoplova W . Za određenu masu, maksimalan gradijent penjanja imat ćemo kada imamo najveći višak potiska. Budući da otpor i potisna sila variraju s brzinom, postoji određena brzina pri kojoj ćemo imati najveći potisak [9].

Faktori koji utječu na gradijent penjanja:

1) Masa zrakoplova:

- utječe na gradijent penjanja za određeni višak potiska,
- povećava otpor, što smanjuje višak potiska, te smanjuje gradijent za dani višak potiska.

2) Konfiguracija zrakoplova:

- otpor ovisi o konfiguraciji. Najveći otpor bit će u slučaju spuštenog podvozja i izvučenih zakrilaca.

3) Gustoća zraka

- smanjenjem gustoće se smanjuje potisak, što rezultira smanjenom gradijentu penjanja.

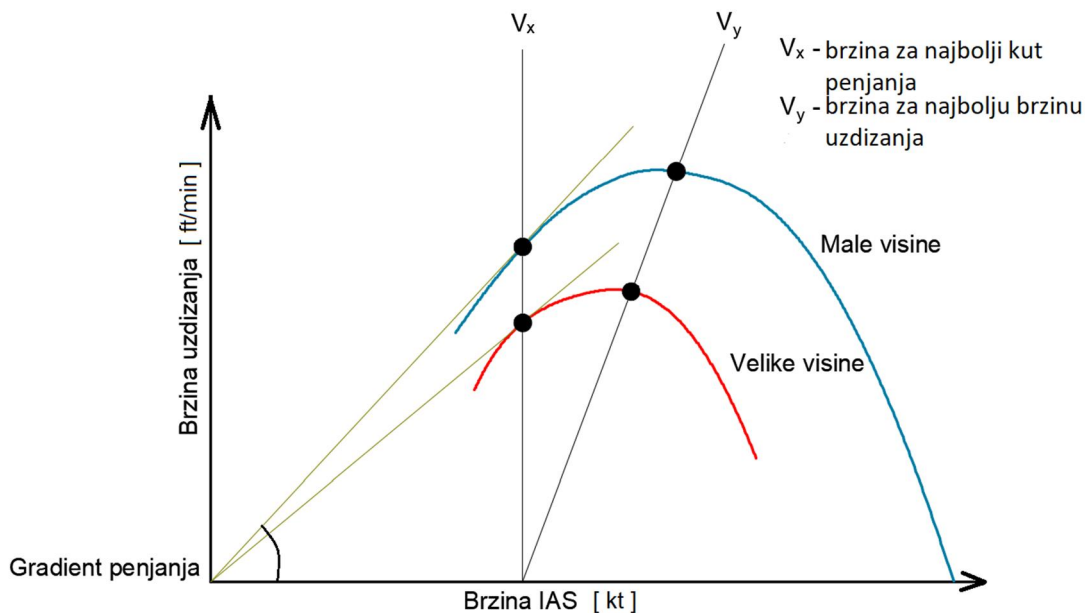
4) Akceleracija

- ukoliko zrakoplov krene ubrzavati tijekom penjanja, određeni dio viška potiska će biti potreban za akceleraciju, te će gradijent penjanja biti smanjen [9].

Brzina uzdizanja (engl. *Rate of climb* – R/C) nam daje informaciju u kojem vremenu će se doseći određena visina, te je definirana kao:

$$R/C = V \frac{T - D}{W} = \frac{VT - VD}{W} = \frac{\text{Thrust available} - \text{Thrust required}}{\text{Weight}} \quad (4)$$

Iz dane formule vidimo da brzina uzdizanja ovisi o višku snage i o masi zrakoplova. Za određenu masu, brzina uzdizanja je maksimalna kada je višak snage najveći, brzina pri kojoj se to javlja je V_y (engl. *speed for the best rate of climb*). Maksimalna brzina uzdizanja se ne javlja pri maksimalnom kutu penjanja. Ukoliko se brzina povećava iznad one za najbolji kut penjanja, kut penjanja će se smanjivati, brzina uzdizanja će se povećavati [9].



Slika 5. Odnos brzina u penjanju s obzirom na visinu, [9]

Faktori koji utječu na brzinu uzdizanja:

1) Masa zrakoplova

- povećana masa daje veću potrebnu snagu, što smanjuje višak snage, te se smanjuje brzina uzdizanja za dani višak snage, brzina V_y će se povećati povećanjem mase.

2) Konfiguracija zrakoplova

- ako su podvozje i zakrilca izvučena, brzina uzdizanja će se smanjiti zbog povećanog otpora, što povećava potrebnu snagu, a V_y će se smanjiti.

3) Gustoća zraka

- smanjenjem gustoće (povećanjem visine ili temperature) smanjit će se dostupna snaga, a potrebna snaga će se povećati, stoga će se višak snage smanjiti i brzina uzdizanja će se smanjiti smanjenjem gustoće [9].

3.3.2. Spuštanje zrakoplova

Spuštanje je segment rute koji traje od završetka faze krstarenja sve do prilaza za slijetanje, ili u bilo kojem trenutku tijekom rute ukoliko dođe do otkaza motora ili dekompresije kabine. Dva ključna faktora su bitna za karakteristike spuštanja, a to su: kut spuštanja i brzina spuštanja [9].

Tijekom jednolikog spuštanja, težina zrakoplova ima komponentu sile duž putanje leta, ali suprotno sili otpora što znači da doprinosi sili potiska (motori su obično na režimu pranog hoda-engl. *idle*). Kako bi se održavala jednaka brzina spuštanja, suprotne sile duž putanje leta moraju biti jednake po formuli :

$$D = T + W \sin \theta, \quad \sin \theta = \frac{D-T}{W} \quad (5)$$

Vidimo da kut spuštanja $\sin \theta$ ovisi o višku otpora ($D - T$). Za procjenu nadvišavanja prepreka na ruti potrebno je razmotriti brzinu spuštanja (engl. *Rate of descent* – R/D) koji je jednak:

$$R/D = V \sin \theta \quad (6)$$

iz toga slijedi :

$$R/D = V \frac{D - T}{W} = \frac{VD - VT}{W} = \frac{\text{Thrust required} - \text{Thrust available}}{\text{Weight}} \quad (7)$$

Povećavanjem brzine i otpora (povećanjem potrebne snage) povećava se i R/D. Stoga maksimalni R/D se dobiva pri maksimalnoj dozvoljenoj brzini i pri maksimalnom postignutom otporu. Maksimalni *rate of descent* se koristi za procedure izvanrednog spuštanja (engl. *emergency descent*) [9].

4. IZVANREDNE SITUACIJE U KRSTARENJU

Tijekom leta, otkaz motora ili dekompresija kabine su moguće pojave, kojima treba vrlo oprezno pristupati, te ih uzimati u obzir prilikom korištenja i konstrukcije nove rute. Pojava takve izvanredne situacije uveliko će naškoditi trenutačnoj konfiguraciji leta, osobito će se odraziti na visinu leta, iz tog razloga let iznad planinskih lanaca je jako osjetljiv [7].

U slučaju otkaza motora za vrijeme leta, preostali potisak motora nije dostatan za uravnoteženje sile otpora i održavanje odgovarajuće brzine krstarenja. Potreban potisak za održavanje visine odjednom postaje veći od dostupnog potiska koji pružaju preostali motori postavljeni na maksimalnoj kontinuiranoj snazi. Jedino rješenje je spuštanje na prikladniju visinu, pri čemu će se dostupni potisak izjednačiti potrebnom potisku i dovesti zrakoplov u ravnotežu [7].

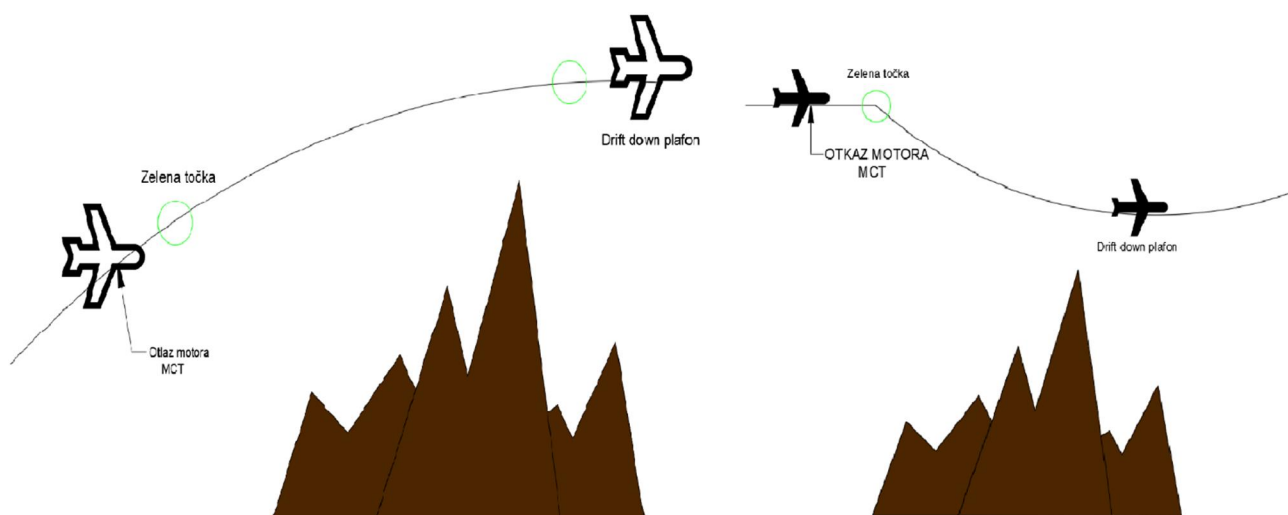
U slučaju dekompresije kabine tijekom leta, također je potrebno spuštanje na prikladniju visinu. Takva procedura nije uvjet ograničenja performansi zrakoplova, već ograničenja sustava kisika, na početnoj visini krstarenja količina kisika u zraku je nedovoljna da bi omogućila članovima posade i putnicima normalno disanje. Zbog toga je potrebna ugradnja sustava za dovod kisika, kako je vrijeme opskrbom kisika ograničeno, potrebno je što prije spustiti zrakoplov na visinu gdje sustav za dovod kisika više neće biti potreban [7].

Složenost situacije se javlja kada zrakoplov leti iznad planinskih područja te mu spuštanje visine nije moguće. Zbog takvih situacija je potrebno znati i biti upoznat s rutom i područjem oko nje kako bi se sigurno i odlučno pristupilo potrebnim procedurama. Izvanredni događaj kada se desi u najgorem trenutku tijekom leta, pilot jasno mora odraditi proceduru ako je moguća, ako nije mora se pronaći nova ruta i novo rješenje [7].

4.1. Otkaz motora

4.1.1. Drift Down procedura

U slučaju otkaza motora iznad planinskih područja tijekom segmenta penjanja ili krstarenja, potrebno je spustiti zrakoplov na povoljnu visinu, prilikom spuštanja zrakoplova potrebno je primijeniti *Drift Down* proceduru. Postupak procedure se sastoji od postavljanja preostalih ispravnih motora na MCT (Maksimalan kontinuirani potisak) postavke, te usporavanje zrakoplova do *Green dot* brzine, to je brzina koja pruža najbolji omjer sile uzgona i sile otpora. Takav omjer će biti prikazan zelenim krugom u pilotskoj kabini na primarnom prikazniku leta (engl. *Primary Flight Display* - PFD). Kada zrakoplov dosegne tu brzinu, kreće spuštanje do *Drift Down* plafona leta, odnosno penjanje ukoliko je do otkaza došlo u segmentu penjanja te zrakoplov nije dosegao potrebnu visinu za održavanje *Green dot* brzine. Rezultat ove procedure je postavljanje maksimalne visine koja omogućava postizanje maksimalne udaljenosti koju zrakoplov može preletjeti [7].



Slika 6. Drift down procedura (penjanje i spuštanje)

Izvor: [7]

4.1.2. Gross i Net Drift Down putanja leta

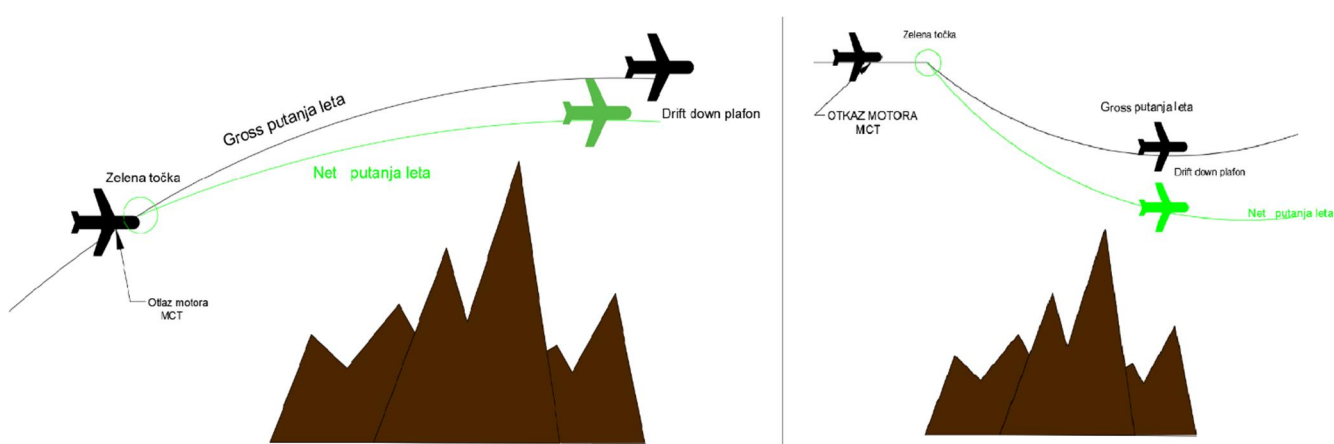
Gross Drift Down putanja leta je stvarna putanja kojom zrakoplov leti nakon otkaza motora. Propisi zahtijevaju da operater prilikom planiranja rute mora odrediti stvarnu putanju leta u slučaju otkaza motora, te uzeti u obzir masu zrakoplova i okolnu temperaturu zraka, te uračunati promjenu mase duž putanje leta zbog povećane potrošnje goriva. Prilikom planiranja također je potrebno u izračun pretpostaviti da je centar težišta zrakoplova u najnepovoljnijem položaju, te je kritični motor otkazao [7].

Net Drift Down putanja leta je stvarna putanja leta kojom zrakoplov leti nakon otkaza motora (*Gross Drift Down flight path*) pri kojem oduzmemo obavezne redukcije pri otkazu motora. *Net* putanja s otkazom jednog motora mora sadržavati stvarne performanse penjanja umanjene za sljedeći gradijent:

- 1,1% za dvomotorne zrakoplove,
- 1,6% za četveromotorne zrakoplove.

Zrakoplov kojem su otkazala dva motora. *Net* putanja leta mora sadržavati stvarne performanse penjanja umanjene za sljedeći gradijent:

- 0,5% za četveromotorne zrakoplove [7].



Slika 7. Gross i Net drift down putanja leta

Izvor: [7]

4.1.3. Otkaz motora na polijetanju

Ukoliko do otkaza motora dođe u fazi polijetanja, najsigurnija opcija bi bila okrenuti zrakoplov i sletjeti na pistu polijetanja. Međutim postoji mogućnost da meteorološki uvjeti nisu povoljni ili performanse zrakoplova nisu dovoljne za takav manevar, tada ne postoje uvjeti za slijetanje na početnu pistu. Potrebno je u planiranju leta odrediti alternativni aerodrom koji se nalazi unutar sljedećih zahtijeva:

- Jedan sat leta ukoliko je otkazao jedan motor na dvomotornom zrakoplovu,
- Dva sata leta ukoliko je otkazao jedan motor na četveromotornom zrakoplovu.

Kada povratak nije moguć, polijetanje se mora nastaviti, te započeti *drift down* proceduru penjanja na kraju segmenta polijetanja i dosegnuti alternativni aerodrom uz potrebno nadvišavanje prepreka [7].

4.2. Nadvišavanje prepreka na ruti uz otkaz jednog motora

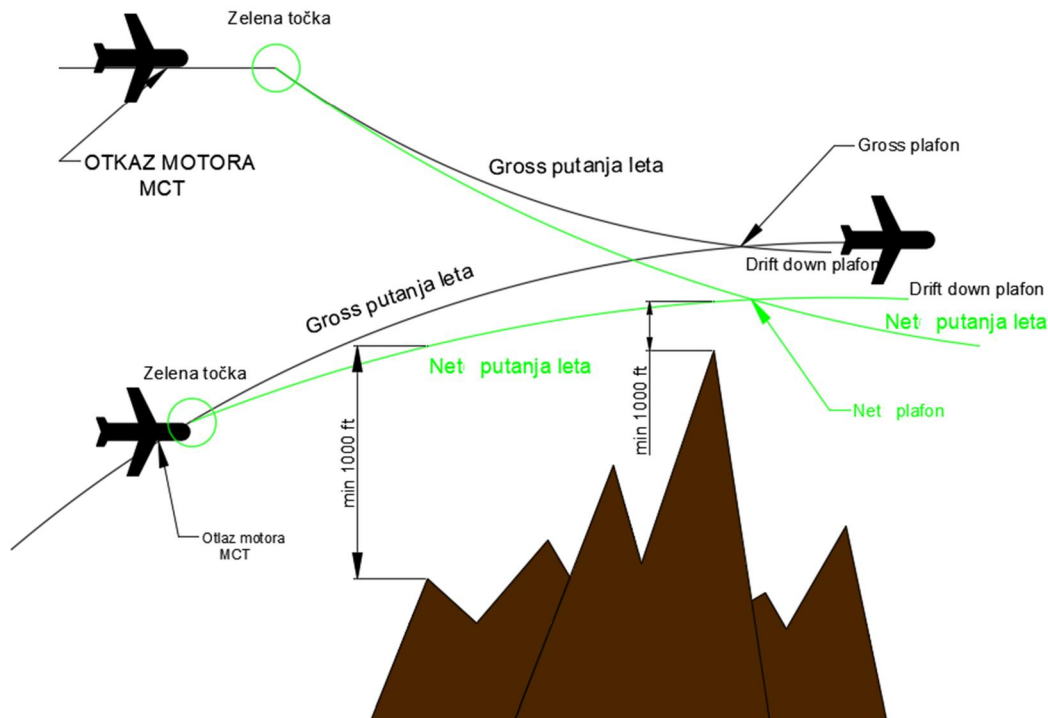
4.2.1. Horizontalna udaljenost od prepreka

U slučaju otkaza motora, putanja leta mora biti osigurana od prepreka. Zrakoplov na svojoj putanji do aerodroma na kojemu slijeće mora osigurati *Net* putanju leta koja je sigurna od zemaljskog terena i građevinskih konstrukcija unutar 5 NM sa svake strane namjeravane putanje. Ukoliko navigacijska preciznost nije zadovoljena tko 95% leta, potrebno je povećati širinu margine na 10 NM [7].

4.2.2. Vertikalna udaljenost od prepreka

Vertikalna udaljenost se podrazumijeva kao margina između *Net* putanje leta i prepreka na zemlji. Svaka ruta mora biti konstruirana s obzirom na sljedeća dva uvjeta nadvišavanja prepreka, ukoliko prvi uvjet nije ostvariv tada se mora detaljno proučiti i upotrijebiti drugi uvjet.

Prvi uvjet zahtijeva da zrakoplov mora imati pozitivan gradijent na 1000 ft iznad svih terena i prepreka duž rute [7].



Slika 8. Vertikalno nadvišavanje za 1000 ft-a

Izvor: [7]

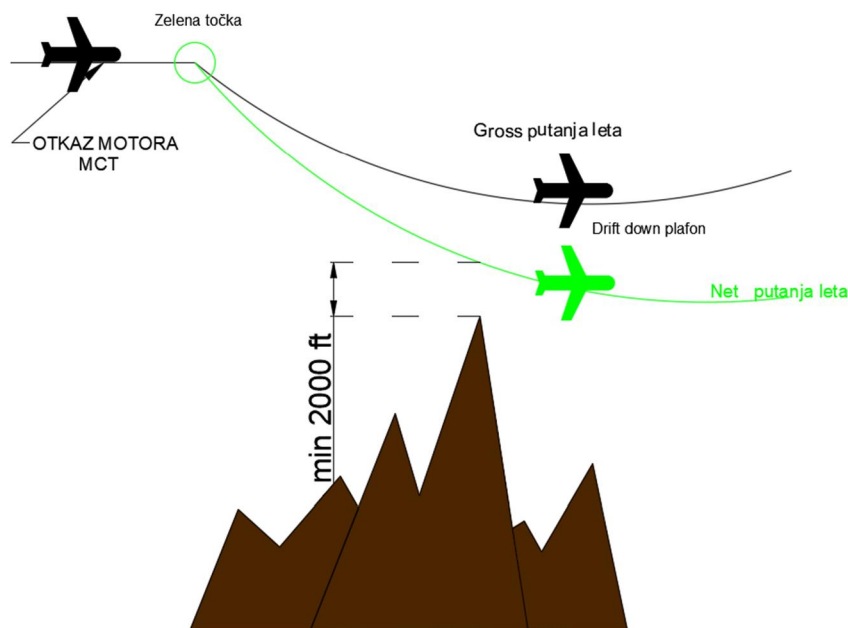
Pri planiranju segmenta penjanja, potrebno je pretpostaviti da je došlo do otkaza motora u najkritičnijoj točki duž rute. Prilikom proračuna putanje leta sve prepreke trebaju biti nadvišene, ako *Net* putanja leta zadovoljava uvjete nadvišavanja prepreke 1000 ft, putanja leta je osigurana u svakom trenutku penjanja. Ukoliko takva *Net* putanja ne zadovoljava uvjete nadvišavanja bar jedne od prepreka za 1000 ft, potrebno je smanjiti masu zrakoplova, te ponovo proračunati putanju leta dok se ne dobije rezultat koji zadovoljava uvjet [7].

U slučaju otkaza motora u segmentu krstarenja, proračun se radi na način da se na najvišu točku prepreke doda 1000 ft, te ta visina označava sigurnosnu visinu H1. *Net drift down* plafon leta se određuje za određeni zrakoplov iz zrakoplovnog priručnika (engl. *Aircraft Flight Manual - AFM*), te taj plafon leta predstavlja sigurnosnu visinu H2. Putanja leta se određuje na sljedeći način:

Ukoliko je visina H2 veća od visine H1, proračun zadovoljava uvjete nadvišavanja prepreka u svakom trenutku leta.

Ukoliko je visina H2 manja od visine H1, potrebno je smanjiti masu zrakoplova na polijetanju, te ponovo provjeriti proračun, ako i dalje ne zadovoljava uvjete potrebno konstruirati novu rutu ili proračun odraditi uzimajući u obzir drugi uvjet [7].

Drugi uvjet zahtijeva vertikalno nadvišavanje prepreka marginom od 2000 ft. Koristi se tijekom faze krstarenja kada nije moguće ispuniti uvjete nadvišavanja za prvi uvjet, te nalaže da *Net* putanja mora dozvoliti nastavak leta zrakoplova do alternativnog aerodroma gdje je moguće sletjeti, putanjom do aerodroma potrebno je nadvisiti sav teren i građevinske konstrukcije marginom od 2000 ft [7].



Slika 9. Vertikalno nadvišavanje za 2000 ft-a

Izvor: [7]

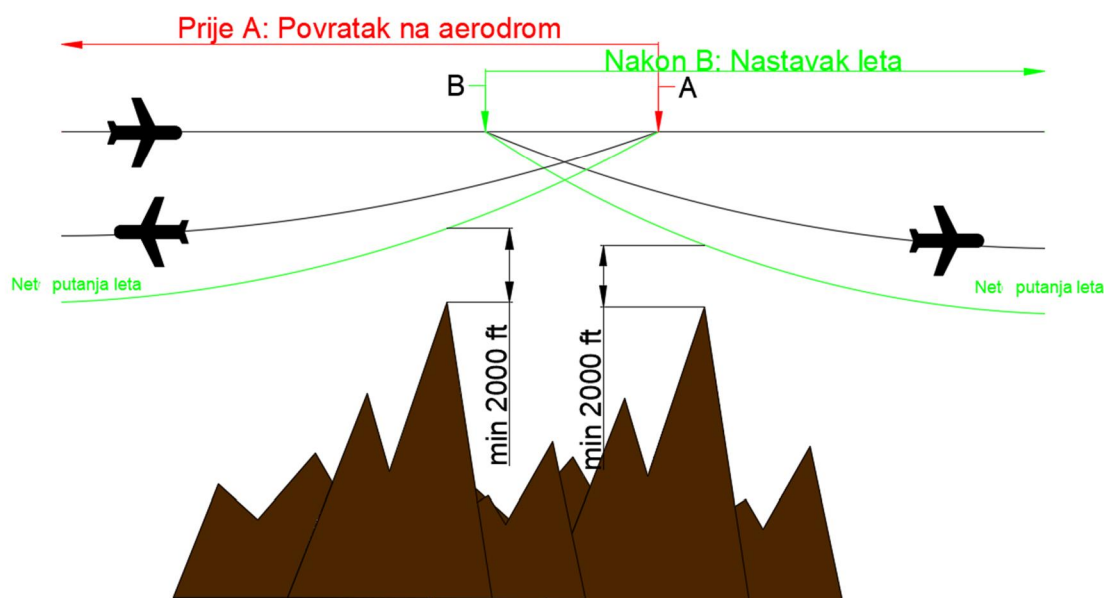
U svakoj kritičnoj točki rute tijekom spuštanja, mora se osigurati izbjegavanje prepreka marginom od 2000 ft, postoje tri procedure za izbjegavanje prepreka: *Turn back* (povratak na aerodrom polijetanja), *Divert* (slijetanje na alternativni aerodrom) i *Continue* (nastavak do planiranog aerodroma slijetanja) procedura. Za odabir procedure potrebno je odrediti kritičnu točku uz pretpostavke da zrakoplov ima najveću moguću težinu, te su meteorološki uvjeti nepovoljni. Kritična točka je točka u kojoj se događa otkaz motora i zrakoplov započinje *drift down* proceduru, te razlikujemo:

- *no-return point* (A) - točka iz koje nije moguće vraćanje na početni aerodrom, iz razloga što vraćanjem ne bi zadovoljili uvjet nadvišavanja prepreke za 2000 ft,
- *continuing point* (B) – točka iz koje je moguć nastavak leta po ruti, iz razloga što zadovoljava uvjet nadvišavanja prepreke marginom 2000 ft.

Zatim je potrebno odrediti najviše prepreke na ruti, iz AFM-a odrediti *Net* putanju leta za povratak na aerodrom i *Net* putanju za nastavak leta. U obzir je potrebno uzeti najnepovoljnije meteorološke uvjete i najveću moguću težinu zrakoplova. Usporediti *Net* putanje leta i prepreke, te doći do zaključka [7].

Ukoliko se točka A (*no-return point*) nalazi iza točke B (*continuing point*), ovisno o otkazu motora, zrakoplov se vraća na aerodrom ili ima mogućnost nastaviti let do planiranog aerodroma. Ovisno o otkazu motora:

- Prije točke A - zrakoplov se vraća na aerodrom polijetanja,
- Poslije točke B - zrakoplov nastavlja let do planiranog aerodroma,
- Između točaka A i B - pilot donosi odluku o povratku ili nastavku leta.

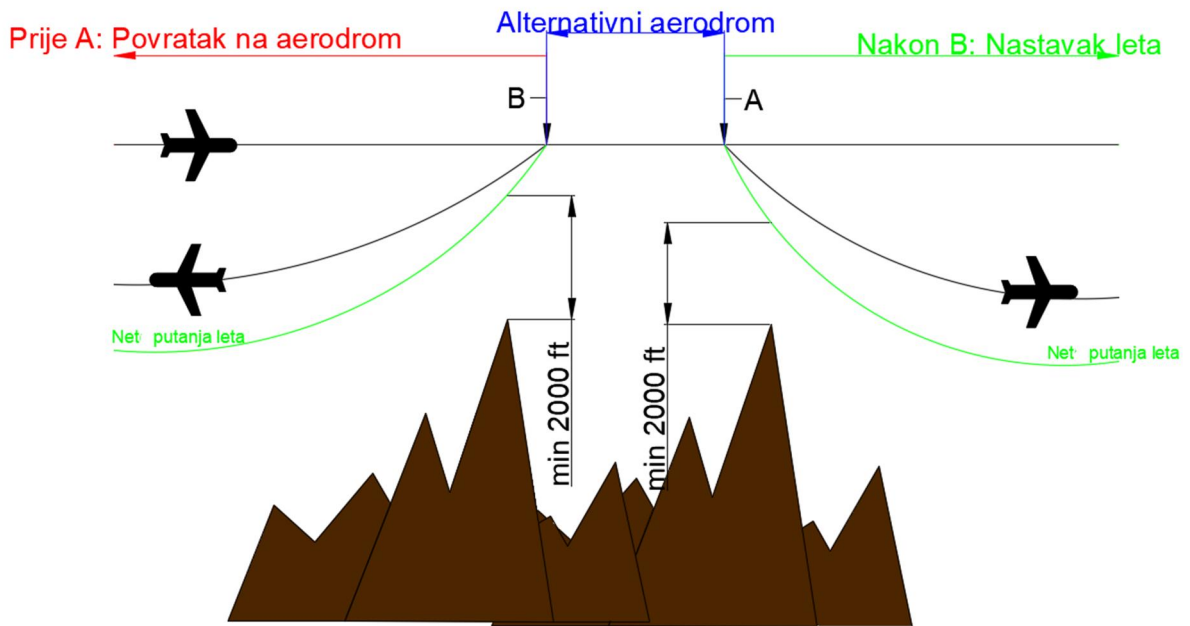


Slika 10. Slučaj kada je točka B ispred točke A

Izvor: [7]

Za slučaj kada se točka A nalazi ispred točke B, procedura se izvršava ovisno o poziciji otkaza motora na sljedeći način:

- Otkaz motora prije točke A – zrakoplov se vraća na aerodrom polijetanja,
- Otkaz motora poslije točke B – zrakoplov nastavlja let do planiranog aerodroma,
- Otkaz motora između točaka A i B – Zrakoplov slijeće na alternativni aerodrom, zadovoljavajući uvjete za nadvišavanje prepreka. Ukoliko nije moguće nadvisiti prepreke, pri planiranju potrebno je smanjiti težinu zrakoplova na polijetanju ili odabrati drugačiju rutu [7].



Slika 11. Slučaj kada je točka A ispred točke B

Izvor: [7]

4.3. Planiranje rute s obzirom na izvanredni događaj

Glavno pravilo pri planiranju rute je da se otkaz motora ili dekompresija kabine događa u najkritičnijoj točki rute, s obzirom na izvanredni događaj postoji više različitih kritičnih točaka koje će definirati profil spuštanja. Propisi ne zahtijevaju razmatranje performansi u slučaju istovremenog otkaza motora i dekompresije kabine, ali kada se ti izvanredni događaji odvoje, broj kritičnih točaka i profila ruta se povećava što može dovesti do povećanja radnog opterećenja za pilote i posadu, koje rezultira većom mogućnosti za pogreškom.

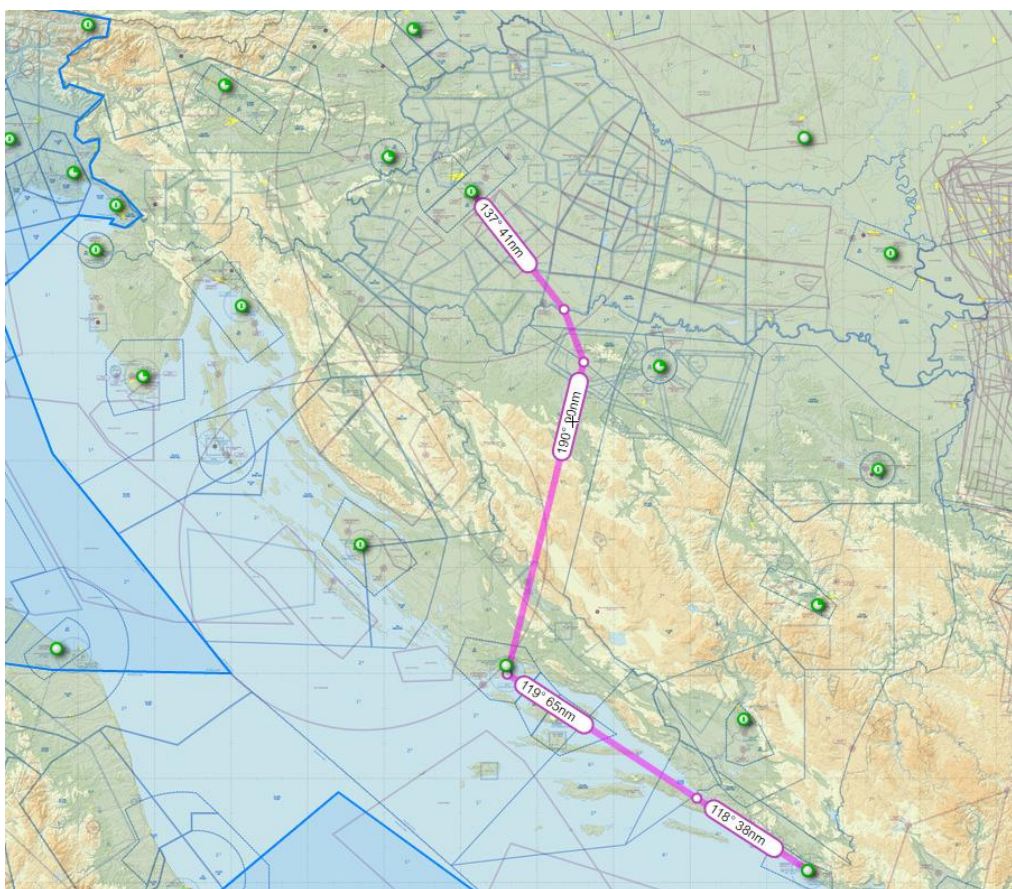
Kako bi se izbjegao takav slučaj potrebno je, kad god je to moguće, odrediti iste kritične točke i procedure bez obzira radi li se o otkazu motora ili o dekompresiji kabine, te odabrati najograničavajuću proceduru spuštanja. Takav način planiranja će uveliko smanjiti radno opterećenje i prostor za pogrešku [7].

5. PRORAČUN DRIFT DOWN PROCEDURE ZA ZRAKOPLOV A320

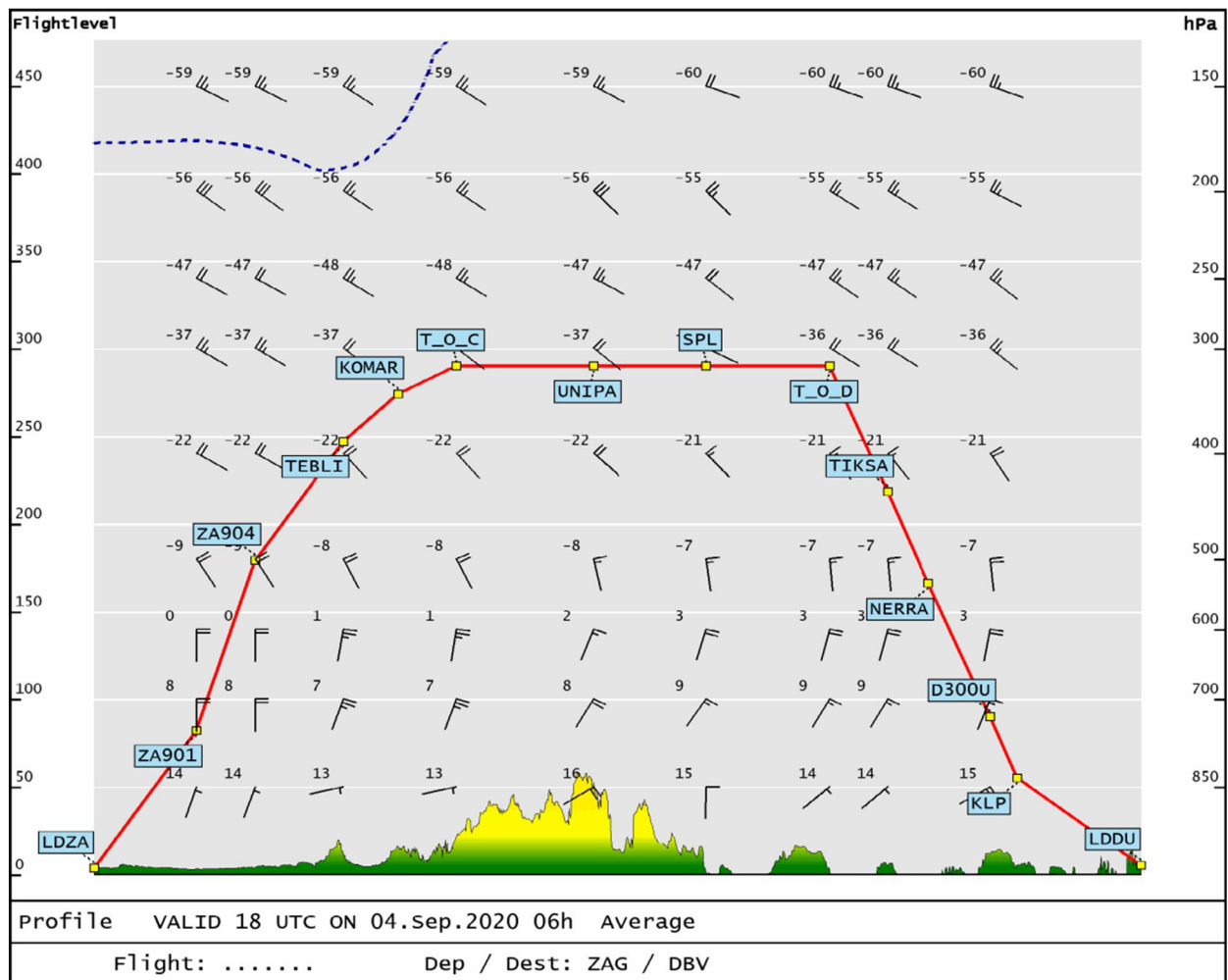
5.1. Ruta i putne točke na ruti

Odabrana ruta za ovaj proračun je let od Zagreba (LDZA) do Dubrovnika (LDDU), koja glasi: LDZA/05 TEBLI1W TEBLI L187 KOMAR L196 SPL L607 NERRA NERRA7A LDDU/30

Zrakoplov polijeće iz Zagreba, LDZA/05 u pravcu 005°, nakon polijetanja po standardnom instrumentalnom odlasku (engl. *Standard Instrumental Departure* - SID) prati zračni put TEBLI1W i penje do visine krstarenja u našem slučaju je to FL300. Sljedeća točka TEBLI je definirana koordinatama na kojoj počinje rutni segment koja je ujedno i granica s Bosnom i Hercegovinom, zrakoplov ulazi u BiH zračni prostor, te pilot mora pratiti zračni put L187 do sljedeće točke. Slijedi prekretna točka KOMAR nakon koje pilot mijenja kurs i prati zračni put L196 skroz do Splita. Nakon točke SPL slijedi zračni put L607 do točke NERRA koja zračnim putem NERRA7A vodi zrakoplov skroz do Dubrovnika, te zrakoplov standardnom rutom za dolazak (engl. *Standard Arrival Route* - STAR) slijeće na pistu u pravcu 300° LDDU/30. Ruta iznosi 285 NM zemaljske udaljenosti, bez utjecaja vjetra.



Slika 12. Horizontalni prikaz rute LDZA-LDDU

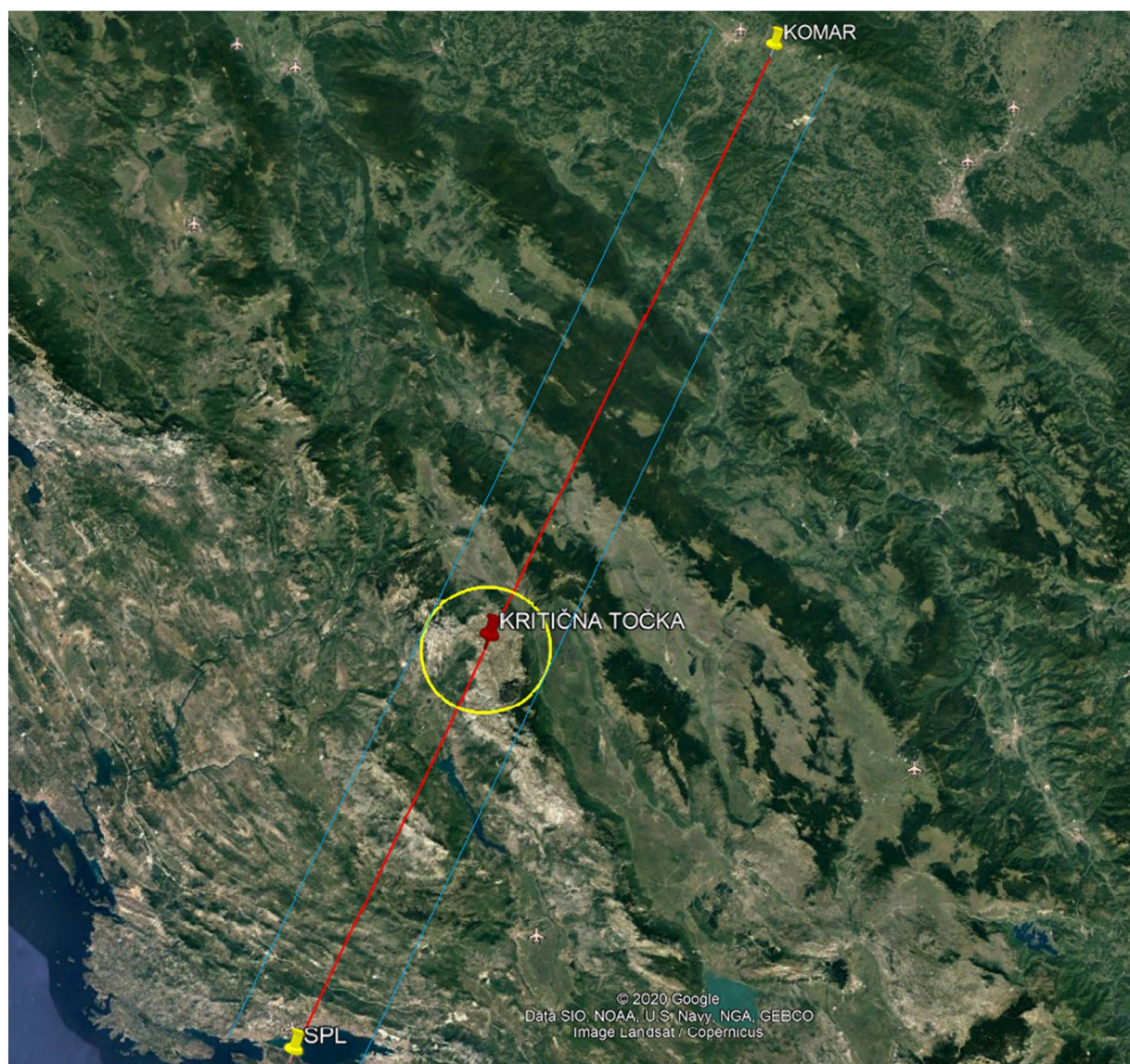


Slika 13. Vertikalni prikaz rute LDZA-LDDU

Iz vertikalnog prikaza rute na slici 13, jasno je vidljivo da zrakoplov tijekom svoje rute značajnom marginom nadvišuje sve prepreke.

5.2. Nadvišavanje prepreka po ruti

Tijekom planiranja rute potrebno je odrediti visinu terena iznad kojeg se leti, te odrediti kritičnu točku za otkaz jednog motora. Na zadanoj ruti kritično područje ukoliko dođe do otkaza jednog motora je kao što se vidi na slici 12 područje oko planine Dinara, točnije na zračnom putu L196 između točke KOMAR i SPL. Iz topografskih karata ili raznih računalnih aplikacija kao u ovom slučaju Google Earth je moguće saznati najveći vrh planine koji na ovoj ruti iznosi 5974 ft. U zadanim uvjetima to je područje označeno na slici 14 “KRITIČNA TOČKA“

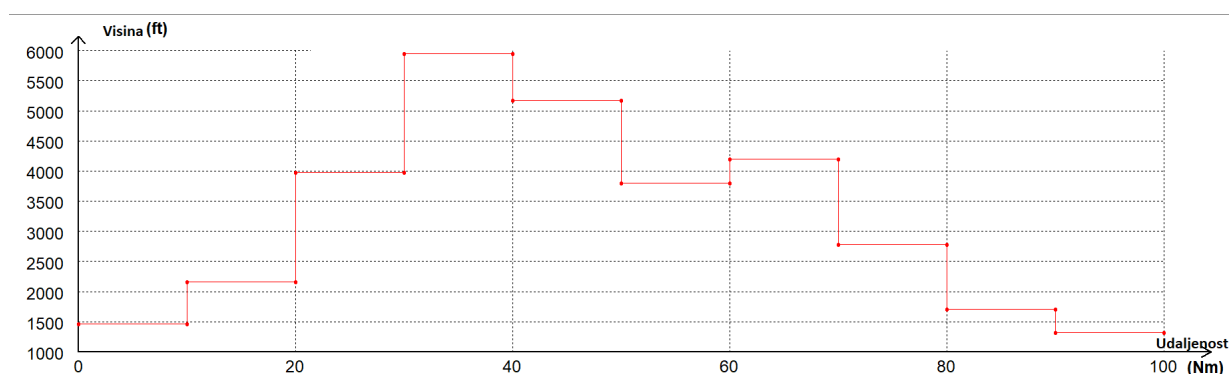


Slika 14. Kritična točka rute

Iz vertikalnog profila prepreka sa slike 15 koja se dobije iz aplikacije moguće je odrediti nadvišavanje točaka najkritičnijeg dijela rute. Za svakih 10 NM se izmjerila najviša točka te se tako u računalnom programu konstruirao profil terena (Slika 16) koji će se iskoristiti za proračun nadvišavanja.



Slika 15. Prepreke na ruti



Slika 16. Profil prepreka na ruti

5.3. Proračun nadvišavanja prepreka

Za proračun nadvišavanja prepreka potrebno je odrediti plafon leta uz otkaz jednog motora za dane uvjete na etapi leta gdje se nalazi kritična točka.

Uvjeti u kojima se nalazi zrakoplov:

- Visina leta je FL290
- Brzina leta je 0,5 Ma
- Masa zrakoplova na polijetanju je 66 000 kg
- ISA uvjeti

Iz tablice (Slika 17) je vidljivo da za dane uvjete zrakoplov uz otkaz jednog motora kako bi mogao nastaviti letjeti, potrebno ga je spustiti do FL251 i održavati brzinu od 226 kt. *Net* putanja spuštanja do visine potrebnu za održavanje let s jednim neoperativnim motorom, mora nadvisiti sve prepreke za sigurnosnu marginu od 2000 ft duž planirane rute do aerodroma na koji slijeće. Sve prepreke duž rute kada im se nadoda sigurnosna margina od 2000 ft su značajno ispod nove visine leta. Najviša točka duž rute vidljiva na slici 18 iznosi 5974 ft, kada se na tu visinu nadoda margina od 2000 ft, što na kraju iznosi 7974 ft za najvišu točku duž rute. Nova visina leta od 25100 ft uspješno nadvisuje sve prepreke.

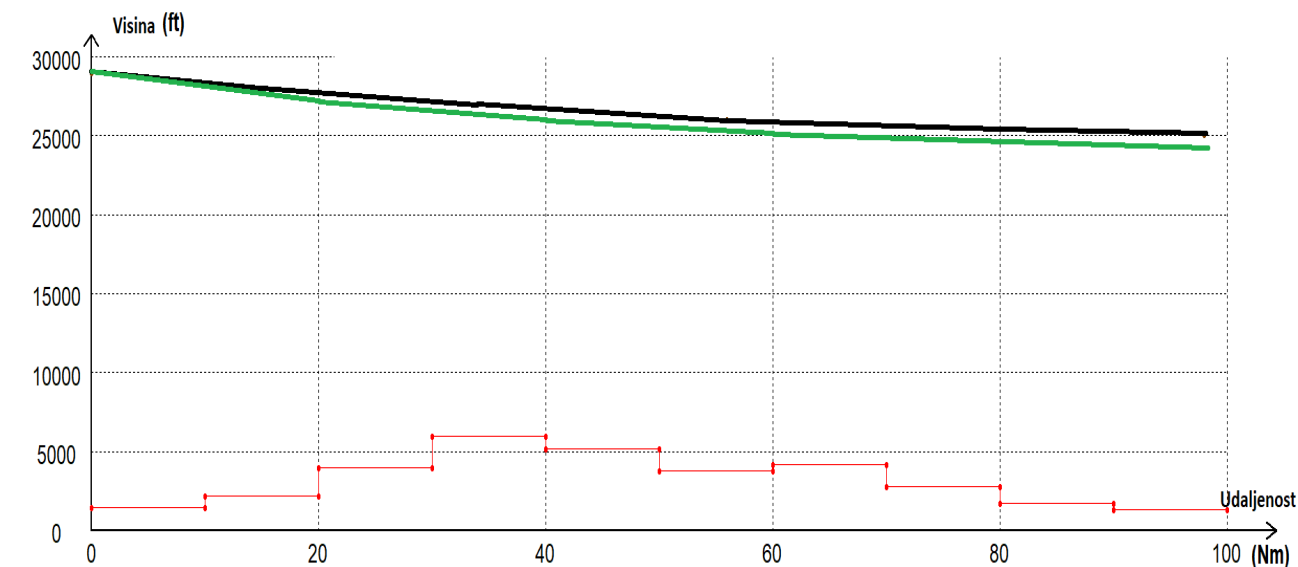
Iz računalnog programa *Airbus Performance Engineer's Programs For Windows* za dane uvjete se dobiju precizni podaci o gradijentu spuštanja i prijedenoj udaljenosti o *Gross* putanji leta što je na slici 18 pokazana crnom bojom. Za *Net* putanju dani gradijent je umanjen za *Penalty gradient* od 1,1%, te je *Net* putanja označena zelenom bojom.

Na slici 18 je za profil prepreka sa slike 16 na svaku prepreku nadodana sigurnosna margina od 2000 ft, te je vidljivo da *Gross* putanja i plafon leta (25100 ft) kao i *Net* putanja i plafon leta (24800 ft) značajno nadvisuju najveću prepreku terena koja iznosi 7974 ft.

Na ruti Zagreb – Dubrovnik nema kritičnih točaka, te ukoliko dođe do otkaza motora zrakoplov će biti u stanju doseći određeni aerodrom.

GROSS FLIGHT PATH DESCENT AT GREEN DOT SPEED									
MAX. CONTINUOUS THRUST PACK FLOW HI ANTI-ICING OFF			ISA CG=33.0%		DISTANCE (NM) INITIAL SPEED(KT)			TIME (MIN) FUEL(1000KG) LEVEL OFF (FT)	
INIT. GW (1000KG)	INITIAL FLIGHT LEVEL								
	230	250	270	290	310	330	350	370	390
50					83 16 196 .4 30700	205 38 198 1.0 31000	253 47 200 1.2 31200	284 52 202 1.3 31200	308 56 204 1.4 31300
52					170 32 200 .9 29900	237 44 202 1.2 30000	273 51 204 1.3 30100	301 55 206 1.5 30200	322 58 208 1.5 30200
54				102 20 202 .6 28000	207 39 204 1.1 29000	255 48 206 1.3 29100	287 53 208 1.5 29200	311 57 210 1.5 29200	331 60 212 1.6 29200
56				174 33 206 1.0 27800	238 45 208 1.3 28000	276 51 210 1.5 28100	304 56 212 1.6 28200	324 59 214 1.6 28200	345 62 216 1.7 28200
58			111 21 208 .6 26600	215 41 210 1.2 26800	262 49 212 1.5 27000	294 55 214 1.6 27100	320 59 216 1.7 27200	339 62 218 1.8 27200	358 65 220 1.8 27200
60			179 34 212 1.1 25800	244 46 214 1.4 26000	283 53 216 1.6 26100	311 58 218 1.7 26100	334 61 220 1.8 26200	353 64 222 1.9 26200	369 67 224 1.9 26300
62			101 19 216 .6 25300	176 33 218 1.0 25400	220 41 220 1.2 25400	240 44 222 1.3 25400	267 48 224 1.4 25400	302 54 226 1.6 25400	321 57 228 1.7 25400
64			72 13 220 .4 25200	117 21 222 .7 25200	149 27 224 .8 25200	175 31 226 .9 25300	197 35 228 1.0 25300	216 37 230 1.1 25300	233 40 232 1.2 25300
66			61 11 224 .4 25100	98 18 226 .6 25100	126 22 228 .7 25100	149 26 230 .8 25100	169 29 232 .9 25100	187 32 234 .9 25100	203 34 236 1.0 25100
68		26 5 226 .2 24900	62 11 228 .4 25000	94 17 230 .5 25000	120 21 232 .7 25000	141 24 234 .8 25000	153 26 236 .8 25000	170 28 238 .8 25000	185 30 240 .9 25000
70	119 21 230 .8 24500	158 28 232 1.1 24600	182 32 234 1.2 24600	205 36 236 1.3 24600	222 39 238 1.3 24700	238 41 240 1.4 24700	253 43 242 1.4 24700		
72	153 27 234 1.1 23900	190 34 236 1.3 24000	214 38 238 1.4 24000	234 41 240 1.5 24100	252 44 242 1.6 24100	268 46 244 1.6 24100	284 48 246 1.7 24100		
74	178 32 238 1.3 23400	210 37 240 1.5 23400	232 41 242 1.6 23500	253 44 244 1.7 23500	270 47 246 1.7 23500	286 49 248 1.8 23500	300 51 250 1.8 23500		
76	106 19 240 .8 22600	196 35 242 1.4 22800	223 39 244 1.6 22900	246 43 246 1.7 22900	264 46 248 1.8 22900	280 48 250 1.8 22900	295 50 252 1.9 23000	311 52 254 1.9 23000	
78	145 26 244 1.1 22100	209 37 246 1.6 22300	236 41 248 1.7 22300	256 44 250 1.8 22300	274 47 252 1.9 22300	291 50 254 1.9 22400	306 52 256 2.0 22400		
CORRECTIONS		DISTANCE		TIME		FUEL		LEVEL OFF	
ENGINE ANTI ICE ON		+ 3 %		+ 3 %		+ 7 %		- 100 FT	
TOTAL ANTI ICE ON		+ 8 %		+ 8 %		+ 10 %		- 700 FT	

Slika 17. Gross flight path tablica, [10]



Slika 18. Gross i Net drift down putanja leta

MAX CABIN RATE : -350. FT/MN
ECONOMICAL DESCENT - COST INDEX : 10.0KG/MN CRUISE ALT. : 29000. FT

ALT. (FT)	ALTG (FT)	WGHT (KG)	MACH ()	CAS (KT)	TAS (KT)	WIND (KT)	TIME (MN)	FUEL (KG)	DIST (NM)	RATE (FT/MN)	GRDT (DEG.)	ALPH (DEG.)	CL ()	CD ()	WFE (KG/H)	FN (DAN)
29000.	29000.	66000.	0.595	226.0	352.3	0.0	0.00	0.	0.0	-415.4	-0.67	4.47	0.66848	0.03827	1821.	2987. 8
9.836	28000.	65919.	0.595	231.0	353.8	0.0	2.61	81.	15.4	-350.7	-0.56	4.18	0.63839	0.03642	1882.	3082. 8
9.771	27000.	65821.	0.595	236.0	355.3	0.0	5.70	179.	33.6	-295.9	-0.47	3.90	0.60973	0.03480	1939.	3173. 8
9.688	26000.	65700.	0.595	241.1	356.8	0.0	9.39	300.	55.5	-246.2	-0.39	3.63	0.58238	0.03333	1994.	3262. 8
9.587	25118.	65445.	0.595	245.7	358.1	0.0	16.55	555.	98.2	0.0	0.00	3.40	0.55787	0.03207	2284.	3681. 9
2.436																

✈️AIRBUS IFF-V19.3.0 WJUN 2019 HSL_V1.0
INPUT DATA
END

Slika 19. Podaci iz računalne aplikacije o putanji leta

6. ZAKLJUČAK

Točna i pravilna priprema leta su ključan faktor za ugodno i sigurno letenje. Pilot mora biti spreman na sve vrste izvanrednih slučajeva, tako i u slučaju otkaza motora. U slučaju velikih visina prilikom otkaza motora, funkcionalan motor nije sposoban održati horizontalni let zbog smanjene gustoće zraka. Pilot po proceduri iz operativnog priručnika odrađuje postupak smanjenja brzine do *Green dot* brzine te kreće u spuštanje do optimalne visine koja će pružiti da motor koji je u funkciji može održavati siguran let. Prilikom tog spuštanja bitna je prethodna priprema leta i analiza rute i terena iznad kojeg se leti, potrebno je da se zadovolji sigurno nadvišavanje prepreka, u situacijama kada to nije moguće i prepreke su previsoke pilot ovisno o situaciji odlučuje o povratku na početni aerodrom ili o trećoj opciji slijetanja na alternativni aerodrom. Na pokazanom proračunu rute Zagreb - Dubrovnik, pokazano je kako su optimalne visine značajno iznad najvećih prepreka na području Hrvatske, te u bilo kojoj situaciji otkaza motora, zrakoplov će biti u stanju sletjeti na određeni aerodrom.

LITERATURA

- [1] - Anderson, J. D. Jr., Aircraft performance and design, WCB/McGraw-Hill, 1999.
- [2] - Zakon o zračnom prometu, Narodne novine, br. 69/09 i 84/11
- [3] - Pravilnik o upravljanju zračnim prostorom, Narodne novine, br. 138/09
- [4] - Grozdanić, B.; Hegeduš, M.: Zrakoplovna navigacija I: kompasna navigacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1995.
- [5] - Novak, D.: Zrakoplovna prostorna navigacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
- [6] - Novak, D.: Zrakoplovna računska navigacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2012.
- [7] - Getting to Grips with Aircraft Performance, Airbus, 2002.
- [8] - Annexes to the draft Commission Regulation on ‘Air Operations – OPS, Preuzeto sa:
<https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Annexes%20to%20Regulation.pdf>
- [Pristupljeno: rujan, 2020.]
- [9] - JAA ATPL Theoretical Knowledge Manual: Flight performance and planning 1, Oxford Aviation Services Limited, 2001.
- [10] - Croatia Airlines, Airbus A320 FLIGHT CREW OPERATING MANUAL, 2020

POPIS SLIKA

Slika 1. Segmenti putanje polijetanja.....	8
Slika 2. Gross i Net putanja leta.....	10
Slika 3. Sektor odlaska.....	11
Slika 4. Odnos brzine pri velikim visinama, [9]	12
Slika 5. Odnos brzina u penjanju s obzirom na visinu, [9]	15
Slika 6. Drift down procedura (penjanje i spuštanje).....	19
Slika 7. Gross i Net drift down putanja leta	20
Slika 8. Vertikalno nadvišavanje za 1000 ft-a	21
Slika 9. Vertikalno nadvišavanje za 2000 ft-a	23
Slika 10. Slučaj kada je točka B ispred točke A	24
Slika 11. Slučaj kada je točka A ispred točke B	25
Slika 12. Horizontalni prikaz rute LDZA-LDDU	26
Slika 13. Vertikalni prikaz rute LDZA-LDDU	27
Slika 14. Kritična točka rute	28
Slika 15. Prepreke na ruti	29
Slika 16. Profil prepreka na ruti	29
Slika 17. Gross flight path tablica, [10]	31
Slika 18. Gross i Net drift down putanja leta.....	31
Slika 19. Podaci iz računalne aplikacije o putanji leta.....	32

POPIS KRATICA

AFM	(Aircraft flight manual) zrakoplovni priručnik
ATS	(Air traffic service) usluga zračnog prometa
CAS	(Calibrated airspeed) kalibrirana brzina
CDR	(Conditional route) uvjetna ruta
DEV	(Deviation) devijacija
EAS	(Equivalent airspeed) ekvivalentna brzina
GS	(Ground speed) brzina u odnosu na Zemlju
IAS	(Indicated airspeed)
ISA	(International standard atmosphere) standardna atmosfera
MCT	(Maximum continuous thrust) maksimalna kontinuirana snaga
PFD	(Primary flight display) primarni prikaznik leta
RNP	(Required navigation performance) zahtijevana navigacijska sposobnost
RNAV	(Area navigation) prostorna navigacija
SID	(Standard instrumental departure) standardni instrumentalni odlazak
STAR	(Standard arrival route) standardna ruta za dolazak
TODA	(Take off distance available) dostupna udaljenost za polijetanje
TOGA	(Maximum takeoff thrust) maksimalna snaga za polijetanje
VAR	(Variation) varijacija
VMC	(Visual meteorological conditions) uvjeti vizualnog letenja

POPIS SIMBOLA

N_T	Pravi sjever [°]
N_M	Magnetni sjever [°]
N_C	Kompasni sjever [°]
V_{ef}	Brzina pri kojoj kritičan motor postaje neoperativan [kt]
V_2	Brzina pri kojoj u slučaju otkaza motora je moguće držati zrakoplov pod kontrolom te postignuti performanse penjanja [kt]
V_R	Brzina rotacije zrakoplova [kt]
γ	Gradijent penjanja [%]
θ	Kut penjanja [°]
R/C	Brzina uzdizanja [ft/min]
R/D	Brzina spuštanja [ft/min]
V_y	Brzina za najbolju brzinu penjanja [kt]
V_x	Brzina za najbolji kut penjanja [kt]



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 redozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskrišten 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 Primjena postupaka snižavanja pri otkazu jednog motora

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

U Zagrebu, 8.9.2020 _____

Student/ica:



(potpis)