Izračun navigacijskih elemenata i performansi leta korištenjem sustava FMGS na zrakoplovu Airbus A320

Oršulić, Fran

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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:119:228545

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-19**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Fran Oršulić

IZRAČUN NAVIGACIJSKIH ELEMENATA I PERFORMANSI LETA KORIŠTENJEM SUSTAVA FMGS NA ZRAKOPLOVU AIRBUS A320

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 6. travnja 2018.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 4843

Pristupnik: **Fran Oršulić (0065038766)**
Studij: Aeronautika
Smjer: Pilot
Usmjerenje: Civilni pilot

Zadatak: **Izračun navigacijskih elemenata i performansi leta korištenjem sustava FMGS na zrakoplovu Airbus A320**

Opis zadatka:

Uvod. Opisati tehničke karakteristike zrakoplova Airbus A320. Primijeniti konvencionalan proces planiranja i izračun navigacijskih elemenata rute. Opis značajki i karakteristika sustava za planiranje i upravljanje letom. Simulacija planirane rute uporabom FMGS programa. Prikupljanje stvarnih podataka o kretanju zrakoplova. Analiza rezultata. Zaključak

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Doris Novak

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

IZRAČUN NAVIGACIJSKIH ELEMENATA I PERFORMANSI LETA KORIŠTENJEM SUSTAVA FMGS NA ZRAKOPLOVU AIRBUS A320

CALCULATION OF NAVIGATION ELEMENTS AND PERFORMANCE USING FMGS ON AIRBUS A320

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

Student: Fran Oršulić

JMBAG: 0065038766

Zagreb, kolovoz 2018.

SAŽETAK

Seminar se bavi tematikom analiziranja navigacijskih elemenata i performansi zrakoplova Airbus A320 na ruti LDZA – EDDF. Ruta se vodi uz pomoć FMGS sustav koji je također opisan u seminaru. U seminaru su opisane karakteristike Airbus A320 zrakoplova. Primijenjen je konvencionalan proces planiranja i izračun navigacijskih elemenata rute. Obrađena su standardna instrumentalna ruta odlaska s aerodroma, standardna terminalna ruta dolaska na aerodrom i standardna instrumentalna ruta slijetanja na aerodrom. Izračunate su performanse za sve režime leta, a to su: polijetanje, penjanje, horizontalni let, spuštanje i slijetanje. Cilj seminara je usporediti izračune dobivene pomoću FMGS sustava i izračune dobivene tablično i grafički.

KLJUČNE RIJEČI: Airbus A320, navigacijski elementi, performanse, FMGS

SUMMARY

The seminar handles the topic of analyzing the navigational elements and performance of the Airbus A320 aircraft on the LDZA - EDDF route. This route is calculated with the help of the FMGS system which is also described in the seminar. Seminar describes the characteristics of the Airbus A320 aircraft, conventional planning process and calculation of the route navigation elements. Calculation include standard instrument departure from the airport, standard arrival route at and the standard landing route at the airport. Performance is calculated for all flight modes, such as taking-off, climb, horizontal flight, descent and landing. The goal of the seminar is to compare the calculations obtained with the FMGS system and calculations obtained graphically and through tables.

KEYWORDS: Airbus A320, navigation elements, performance, FMGS

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. KARAKTERISTIKE ZRAKOPLOVA AIRBUS A320 2
   2.1. Modeli zrakoplova tvrtke Airbus 2
   2.2. Karakteristike zrakoplova A320 3
3. OPIS ZNAČAJKI I KARAKTERISTIČNIH SUSTAVA ZA PLANIRANJE I UPRAVLJANJE LETOM 5
   3.1. Računalo za upravljanje i vođenje leta 6
   3.2. Višenamjenska kontrolno-prikaznička jedinica 7
   3.3. Panel za upravljanje letom 9
   3.4. Ručica potiska 9
   3.5. Primarni letni prikaznik 10
   3.6. Prikaznik navigacijskih podataka 10
4. NAVIGACIJSKI ELEMENTI RUTE ZAGREB – FRANKFURT 11
   4.1. Standardna instrumentalna ruta odlaska 12
   4.2. Standardna terminalna ruta dolaska na aerodrom 13
   4.3. Instrumentalni prilaz na odredišni aerodrom 14
5. IZRAČUN PERFORMANSI ZRAKOPLOVA AIRBUS A320 ZA RUTU LDZA - EDDF 15
   5.1. Izračun performansi u polijetanju 15
   5.2. Izračun performansi u penjanju 16
   5.3. Izračun performansi u krstarenju 17
   5.4. Izračun performansi u spuštanju 19
   5.5. Izračun performansi prilikom slijetanja 20
6. SIMULACIJA PLANIRANE RUTE UPORABOM FMGS PROGRAMA 21
7. STVARNI PODACI S RUTE 24
   7.1. Meteo podaci s aerodroma 24
   7.2. Vrijeme, brzina, visina, ruta 24
8. ANALIZA REZULTATA 26
   8.1. Aerodrom polijetanja LDZA do TOC 26
   8.2. Horizontalni let 27
   8.3. TOD do aerodroma slijetanja EDDF 28
   8.4. Tablični prikaz 28
9. ZAKLJUČAK 32

POPIS LITERATURE 33

POPIS SLIKA 34

POPIS TABLICA 35

1. UVOD

Cilj završnog rada je usporediti izračune navigacijskih elemenata i performansi računajući uz pomoć tablica i izračune pomoću simuliranog sustava FMGS-s koji se nalazi na samom zrakoplovu Airbus A320 sa stvarnim podacima. Razne promjene poput vjetra, naoblake, zagušenja u prometu, utječu na rutu tako da proračunati elementi ne moraju biti jednaki stvarnim, ali uz pomoć proračuna lakše se prilagoditi situaciji.

Ruta je podijeljena na tri dijela. Tako su i obrađeni navigacijski elementi i performanse. Prvi dio je penjanje od aerodroma LDZA do najviše točke penjanje TOC. Drugi dio predstavlja horizontalni let. Treći dio je spuštanje s visine krstarenja do aerodroma EDDF. Podaci koji se obrađuju su vremena, udaljenosti, potrošnja goriva, brzine na ruti. Ruta započinje na Zagrebačkoj zračnoj luci, a završava na zračnoj luci Frankfurt na Majni. Zrakoplov koji obavlja let je u vlasništvu hrvatske zrakoplovne kompanije Croatia Airlines. Model zrakoplova je Airbus A320.

Rad je podijeljen na devet cjelina. Prva cjelina je uvod gdje se čitatelju pobliže objašnjava sadržaj seminara. Druga cjelina opisuje model zrakoplova Airbus A320. Treća cjelina opisuje sustav za upravljanje i vođenje leta. Četvrta cjelina bavi se navigacijskim elementima rute. U petoj cjelini primjenjuje se konvencionalan pristup izračunu performansi. Cjeline šest obrađuje izračunate elemente pomoću FMGS sustava. Cjelina sedam obrađuje stvarne podatke s leta. U osmoj cjelini uspoređuju se proračunati podaci. U cjelini devet autor daje svoj osvrt na proračune.

2. KARAKTERISTIKE ZRAKOPLOVA AIRBUS A320

2.1. Modeli zrakoplova tvrtke Airbus

Airbus je zrakoplovna korporacija registrirana u Nizozemskoj. Bavi se proizvodnjom, projektiranjem, istraživanjem, prodajom civilnih i vojnih zrakoplova i helikoptera. Prvi zrakoplov koji je tvrtka proizvela bio je Airbus A300. Dvomotorni zrakoplovi imaju mogućnost letenja s jednim motorom što je veliko poboljšanje u sigurnosti. Poboljšavanjem performansi napravljen je Airbus A310. Nakon njega tvrtka proizvodi prvi zrakoplov pogonjen pomoću mlaznih motora i upravljan pomoću tzv. Fly-by-wire sustava [1].

Airbus A320 je zrakoplov srednjeg doleta. Za duže relacije Airbus proizvodi zrakoplove A330, A340, A350 i A380. Jedino modeli zrakoplova A340 i A380 koriste četiri mlazna motora, dok svi ostali modeli koriste dva mlazna motora. U obitelj A320 spadaju još i modeli A318, A319, A321.

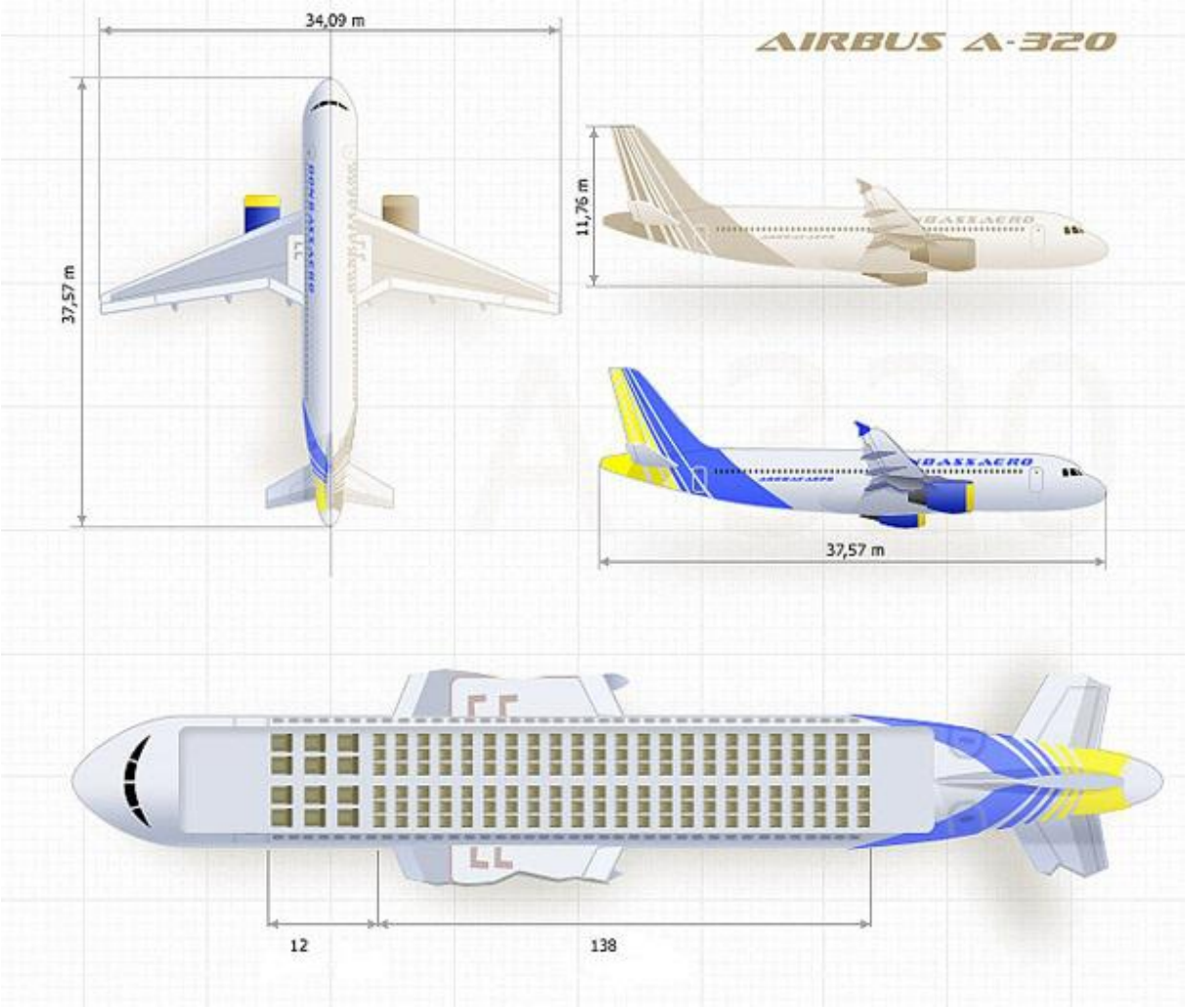
Tvrtka 2007. godine prestaje proizvoditi modele A300 i A310, a 2011. godine tvrtka prestaje proizvoditi model A340. Najveći komercijalni uspjeh Airbus je ostvari s proizvodnjom modela A320.

Modele zrakoplova tvrtke Airbus prikazuje slika 1.

Slika 1: Modeli zrakoplova tvrtke Airbus [2]

2.2. Karakteristike zrakoplova A320

Airbus A320 može primiti od 150 do 180 putnika. Airbus A320 u vlasništvu Croatia Airlines može primiti 174 putnika [3]. Duljina trupa zrakoplova je 37,57 metara. Visina zrakoplova je 11,76 metara. Raspon krila zrakoplova je 34, 10 metara. Vanjska širina glavnog podvozja zrakoplova je 8, 9 metara [4]. Vanjska širina glavnog podvozja i raspon krila svrstavaju zrakoplov u kategoriju kodnog slova C. Tu spadaju svi zrakoplovi širine glavnog podvozja od 6 do 9 metara i raspona krila od 24 do 36 metara. Dimenzije zrakoplova prikazuje slika 2.



Slika 2: Dimenzije zrakoplova Airbus A320 [5]

Zrakoplov Airbus A320 u vlasništvu tvrtke Croatia Airlines pogonjen je s dva motora oznake CFM56 koji razvija snagu oko 115 [kN]. Plafon leta ili Maksimalna visina na koju zrakoplov može dostići je 39 100 stopa [3].

Na visini od 36 000 stopa brzina krstarenja je 0,78 [Ma]. Dok je maksimalna brzina krstarenja na visini od 36 000 stopa 0,82 [Ma] [3]. Pilot upravlja upravljačkim površinama tako da se zadane komadne prenose putem električnih signala što bitno rasterećuje pilota.

Maksimalna dopuštena masa na stajanci je 73 900 kilograma. Maksimalna dopuštena masa na polijetanju je 73 500 kilograma. Ako se zrakoplov nalazi na stajanci i ima masu 73900 kilograma, mora potrošiti minimalno 400 kilograma goriva pri pokretanju motora i taksiranju prije nego poleti. Maksimalna masa na slijetanju je 64 500 kilograma. Ako zrakoplov poleti s masom od 73 500 kilograma, tada do slijetanja mora potrošiti minimalno 9000 kilograma goriva. Maksimalna masa zrakoplova bez goriva je 61 000 kilograma. Sve navedene maksimalne mase su maksimalne strukturalne mase [4]. Svaki aerodrom definira svoje maksimalne mase koje kolnik može neograničeno puta izdržati. Pilot je dužan držati se u granicama maksimalnih masa zadanih od proizvođača i maksimalnih propisanih masa na aerodromu.

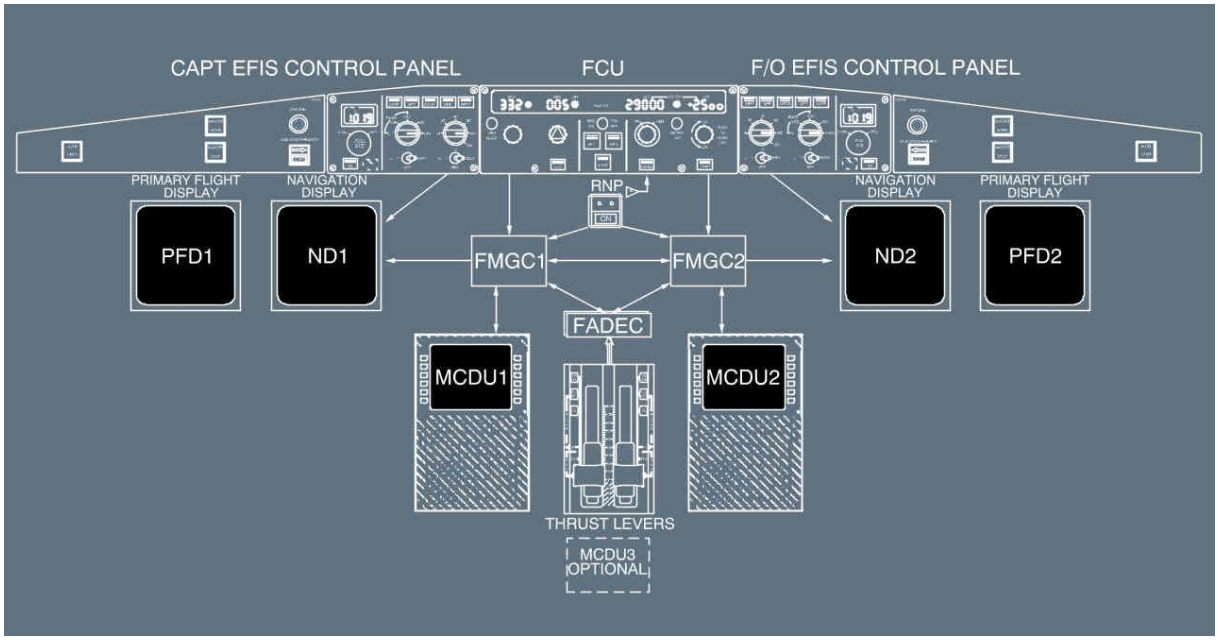
Maksimalna demonstrirana brzina bočne komponente vjetra za slijetanje i polijetanje je 38 čvorova. Maksimalna leđna komponenta pri polijetanju je 15 čvorova. Maksimalna leđna komponenta pri slijetanju je 10 čvorova [4]. Navedene maksimalne brzine propisane su od proizvođača zrakoplova, u ovom slučaju zrakoplovne kompanije Airbus za navedeni model A320. Maksimalne komponente vjetra može propisati i operator. Uvjet da maksimalne komponentne vjetra propiše operator je takav da propisane komponentne budu strože od propisanih maksimalnih komponentni proizvođača. Pilot je dužan pridržavati se strože propisanih komponentni vjetra.

3. OPIS ZNAČAJKI I KARAKTERISTIČNIH SUSTAVA ZA PLANIRANJE I UPRAVLJANJE LETOM

Sustav upravljanja letom (Flight Management System – FMS) integrirani je elektronički sustav upravljanja letom podržan računalom [6]. Sustav omogućuje upravljanje performansama i resursima zrakoplovnih sustava. Sustav se koristi za navigaciju i automatsko vođenje zrakoplova autopilotom. Kada je sustav povezan s autopilotom zrakoplova i upraviteljem leta, tada se naziva sustavom za upravljanje i vođenje leta. (Flight Management and Guidance System ili FMGS) [3]. Sustav integrira podatke od svih međusobno nezavisnih navigacijskih senzora i sustava (IRS, GNSS, VOR, DME, NDB, LOC/DME) te ih prikazuje kao jedinstvenu poziciju zrakoplova (engl. mixed position). Ta se pozicija zatim koristi za predviđanje performansi zrakoplova uporabom aerodinamičkog matematičkog modela zrakoplova, modela atmosfere i motora – zajedno s predviđenim parametrima temperature vanjskog zraka, vjetra, putne brzine i stvarne mase te položaja težišta zrakoplova [6].

Flight Management and Guidance System (FMGS) sastoji se od više komponenti kao što su (slika 3):

- Računalo za upravljanje i vođenje leta
- Višenamjenska kontrolno-prikaznička jedinica
- Panel za upravljanje letom
- Ručica potiska
- Primarni letni prikaznik
- Prikaznik navigacijskih podataka



Slika 3. glavne komponente FGMS sustava [7]

Kazalo kratica:

- PFD1 (engl. Primary Flight Display) = Primarni letni zaslon
- ND1 (engl. Navigation Display) = Prikaznik navigacijskih podataka
- MCDU (engl. Multipurpose Control Display Unit) = višenamjenska kontrolno-prikaznička jedinica
- FCU (eng. Flight Control Unit) = panel za upravljanje letom
- FMGC (engl. Flight Management and Guidance Computer) = računalo sustava za upravljanje i vođenje leta
- Thrust levers = ručica za upravljanje potiskom
- FADEC (eng. Full Authority Digital Electronics Control) = Potpuno autonomni sustav za upravljanje elektronikom

3.1. Računalo za upravljanje i vođenje leta

Računalo za upravljanje i vođenje leta (engl. Flight Management and Guidance Computer ili FMGC) čini središnji dio FMGS-a. Glavna zadaće je proračunavanje pozicije zrakoplova i putne brzine. Računalo prikuplja podatke s više izvora kako bi preciznost bila što veća i u slučaju otkaza jednog izvora i dalje stoje na raspolaganju ostali izvori. Prikupljene

informacije dolaze od inercijskog navigacijskog sustava, satelitskog navigacijskog sustava i zemaljskih radionavigacijskih postaja. Računalo uspoređuje pozicije dobivene od pojedinih izvora i prikazuje pilotu odstupanja. Ta usporedba i kontrola traje tijekom čitavog leta. Piloti ima dvije mogućnosti režima rada sustava. Ako izaberu potpuno automatizirani režim, tada sustav automatski slijedi unaprijed programirani plan leta. Drugo, piloti mogu izabrati djelomično automatizirani režim koji se razlikuje od prethodno planiranog plana leta. Piloti u oba slučaja imaju potpuno kontrolu nad zrakoplovom [8].

Računalo sadržava bazu podataka o performansama zrakoplova i navigacijskim bazama. Bazu podataka FMGC-a čine podaci o performansama zrakoplova i navigacijska baza, a podaci o performansama sadržani su od svih parametara o mogućnostima i ograničenjima tipa i modela zrakoplova te motora, kao i algoritme za strateške izračune troškova zračnog prijevoznika koji se primjenjuje u konkretnom zrakoplovu. Odnosi se na informacije vezane za modifikacija na zrakoplovu i program operativne konfiguracije. Navigacijsku bazu podataka čine informacije relevantne za područje operacija zrakoplovom, odnosno podatci o aerodromima, a to su pozicija, nadmorska visina, podatci o uzletno-sletnim stazama, podatci o radionavigacijskim sredstvima sadrže frekvencije rada, koordinate koje određuju njihovu poziciju, identifikacijski kod, zračni putevi i pripadajuće putne točke i preletišta, dolazni i odlazni postupci (STAR/SID), postupci instrumentalnih prilaženja i posebne kompanijske rute [8].

3.2. Višenamjenska kontrolno-prikaznička jedinica

Višenamjenska kontrolno-prikaznička jedinica ili MCDU jest sučelje preko kojega se provodi komunikacija posade zrakoplova s FMGC-om. Osnovne funkcije koje su omogućene preko MCDU-a jesu [8]:

- unos početne pozicije i usklađivanje inercijskih navigacijskih sustava prije leta

  kreiranje navigacijskih planova leta (glavnog, pomoćnog i pričuvnog)
- unos podataka o masi zrakoplova, položaju težišta, količini goriva radi proračuna vremena i potrošnje goriva te optimizacije performansi
- unos podataka za polijetanje i prilaženje na slijetanje

- pregled i uređivanje planova leta tijekom trajanja leta
- prikaz odabranih radionavigacijskih sredstava
- prikaz informacija o stanju točnosti pozicioniranja

Podatci se u MCDU upisuju se u polja koja su raspoređena u 12 predviđenih linija prema rasporedu po šest sa svake strane ekrane na devet osnovnih stranica. Ovisno o proizvođači opreme aktiviranje i status svake funkcije koje su definirane početnim elementima prikazane su u šest različitih boja. Pojašnjenje osnovnih funkcija FMGC programiranje preko sučelja MCDU navedene su s kratkim pojašnjenjima u nastavku:

- DIR stranica – pilot može odabrati točku za izravan dolet, izvan programiranog plana leta
- PROG stranica – prikazuju se aktualne informacije i relevantni podatci koji se odnose na aktivni navigacijski plan leta
- PERF stranica – dostupni su podatci o performansama, brzinama leta i elementima proračuna putanje leta u vertikalnoj ravnini koji su povezani sa svakom fazom leta
- INIT – služi za pokretanje plana leta unosom osnovnih parametara te za pokretanje određivanja početne pozicije nakon pokretanja sustava avionike zrakoplova. Uz to, moguće je unijeti podatke o položaju težišta i ukupnoj količini goriva
- DATA – omogućuje pristup navigacijskoj bazi podataka te selektiranje točaka pri kreiranju plana leta
- F-PLN – služi kreiranju (prije leta) i revizijama (tijekom leta) navigacijskog plana u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini
- RAD NAV – moguće je ručno odabrati radionavigacijska sredstva ili se prikazuju ona koja je sustav automatski selektirao i koja se upotrebljava za kontrolu točnosti
- FUEL PRED – prikazuju se podatci za nastavak leta prema aktivnom navigacijskom planu i trenutačnoj masi i količini goriva u zrakoplovu
- SEC F-PLN – preko ove stranice posada ima pristup svim funkcijama pomoćnog plana leta. [8]

Uz pomoć MCDU-a unaprijed je moguće programirati cjelokupan let, a to se sučelje koristi za upravljanje te vođenje zrakoplova na strateškoj odnosno dugoročnoj razini.

3.3. Panel za upravljanje letom

Kontrolno-upravljačko sučelje (engl. Flight control unit ili FCU) koje je smješteno poviše panela na kojem se nalaze elektronički prikaznici je panel za upravljanje letom. FCU je zadužen za promjene pojedinih elemenata tijekom pojedinih faza ili vođenje zrakoplova u kraćim segmentima odnosno taktička razina. Moguće je uključivanje/isključivanje te upravljanje autopilotom, upraviteljem leta i automatskim potiskom ako se odabere režim upravljanja i zadaju se odgovarajući vrijednosni parametri.

3.4. Ručica potiska

Ručice potiska su sučelje preko kojih pilot također upravlja FMGS-om i to preko FADEC sustava (engl. Full Authority Digital Engine Control) [8]. FADEC ima ulogu efikasno iskorištavanje motora zrakoplova, ovisno o programiranim parametrima te zadanim vrijednostima autonomno regulira potisak, a pri programiranju elemenata plana leta FMGS-u pojedine vrijednosti odnosno temperatura zraka, visina leta i vjetar u kombinaciji s određenom fazom leta, penjanje, krstarenje i spuštanje daju ulazne podatke FADEC-u koji prema njima prilagođava i regulira potisak motora. Pilot tako nema potrebu za ručnim postavljanjem potiska i ne treba voditi računa o ograničenjima u eksploataciji motora. Tako se smanjuje radno opterećenje posade, te se povećava i efikasnost iskorištavanja performansi zrakoplova i motora, ali se štede i resursi. Osnovne funkcije kojima se upravlja ručicama potiska jesu:

- uključivanje autopotiska, upravitelja leta i autopilota u položaju za polijetanje odabir režima potiska ovisno o fazi leta
- reguliranje potiska u režimu ručnog upravljanja[8]

Ako je funkcija autopotiska isključena pomoću ručica potiska izravno se kontrolira potisak. Pet režima postoje koje je moguće odabrati:

- TOGA (engl. take-off and go-around) ili najveća snaga za polijetanje

- FLX MCT (engl. flexible take-off maximum continuous thrust) ili najveća trajna snaga
- CL (engl. climb) ili najveća snaga tijekom penjanja
- IDLE ili najmanja snaga
- MAX REV (engl. maximum reverse) ili najveća snaga za obrnuti potisak [8]

Ručice potiska postavljaju se u CL poziciju, u normalnom režimu rada automatskog potiska, osim u fazama polijetanja i neuspjelog prilaženja. U slučaju otkaza jednog motora odabire se MCT režim kako bi se aktivirala funkcija automatskog potiska.

3.5. Primarni letni prikaznik

Osnovno sučelje za pregled informacija o operativnom stanju rada FMGS-a naziva se PFD, na njemu se prikazuju informacije o odabranom ili aktiviranom režimu rada FMGS-a te režimima rada i elementima upravitelja leta, autopilota te autopotiska. Prikaz umjetnog horizonta kojim se kontrolira uzdužni te poprečni kut nagiba zrakoplova u prostoru, dostupni su vizualni podatci o brzini leta, kursu i vertikalnoj brini uzdizanja i silaženja.

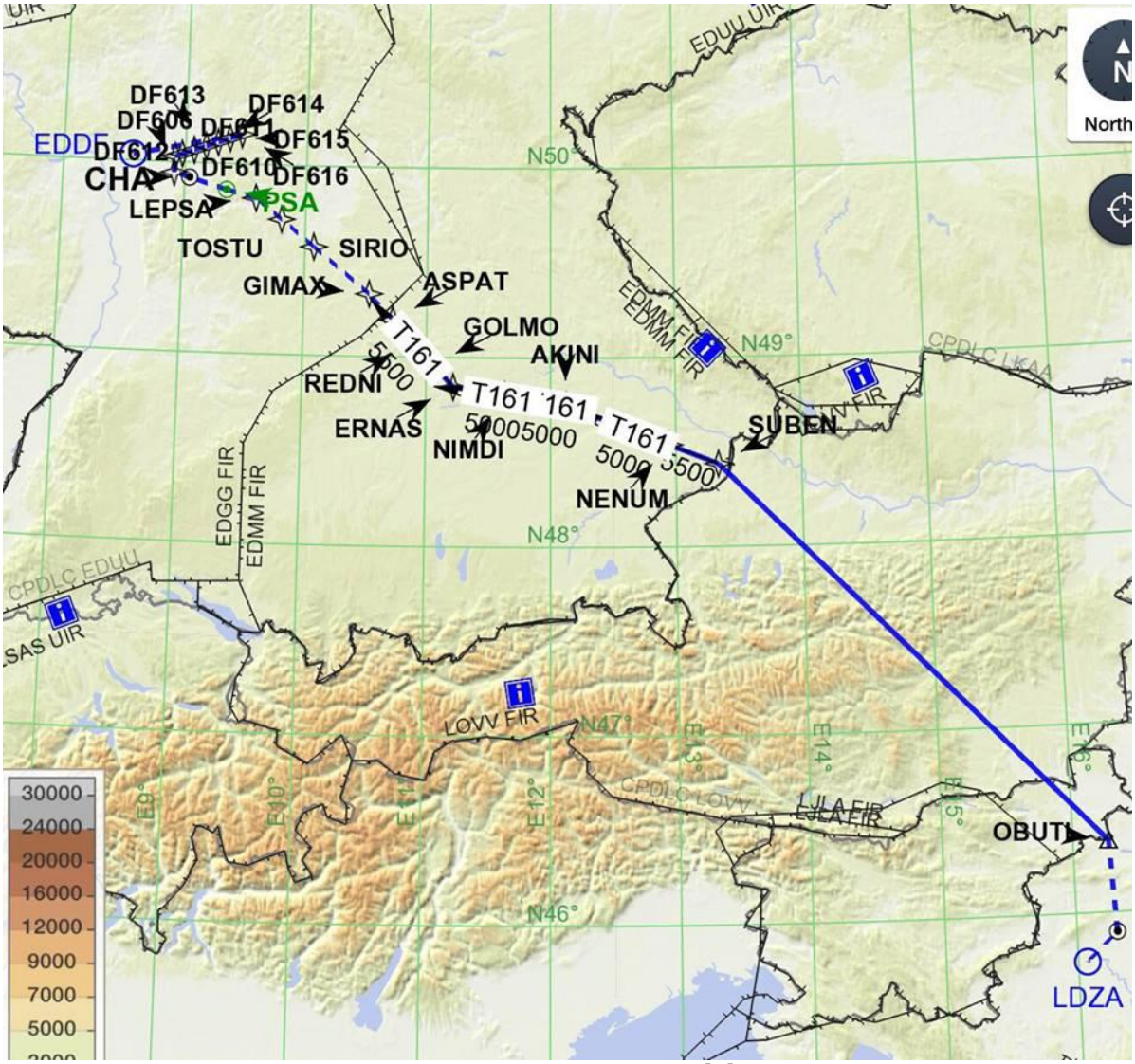
3.6. Prikaznik navigacijskih podataka

Drugo važno sučelje uz PFD, između posade i FMGS-a jest prikaznik navigacijskih podataka. Stvarna pozicija zrakoplova u odnosu na predviđenu poziciju iz plana.

Na ND-u moguće je vidjeti sve relevantne podatke ali i eventualna odstupanja od planirane rute. ND i PFD-u pojavljuju se u različitim bojama čime se označuje određeni status tog režima/podatka.

4. NAVIGACIJSKI ELEMENTI RUTE ZAGREB – FRANKFURT

Aerodrom polijetanja je LDZA (Zračna luka Zagreb), a aerodrom slijetanja je EDDF (Zračna luka Frankfurt na Majni) (slika 4.). Izabrane su tri alternacije, a to su: EDDM (Zračna luka Munich), EDDK (Zračna luka Koln Bonn) i EDDL (Zračna luka Dusseldorf). Ukupno put je 485 nautičkih milja. Razina krstarenja je FL360. Predviđeno paljenje motora je 05:45. Predviđeno polijetanje iz zračne luke Zagreb je u 05:55. Predviđeno slijetanje na zračnu luku Frankfurt na Majni je u 06:59. Gašenje motora je u 07:15. Sva vremena korištena su prema koordiniranom svjetskom vremenu (UTC).

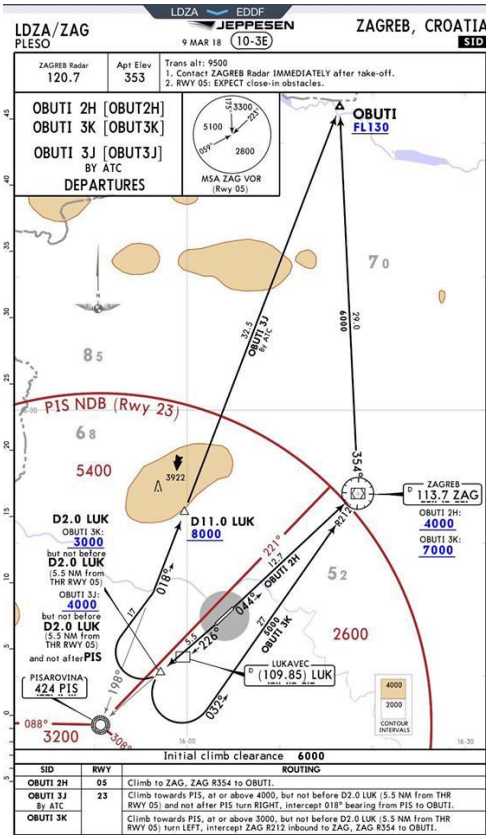


Slika 4. Ruta LDZA – EDDE [9]

4.1. Standardna instrumentalna ruta odlaska

Svaka zračna luka ima definirate rute za odlazak s aerodroma. Svaka ruta u odlasku povezuje uzletno-sletnu stazu s jednom točkom na karti. Naziv zračne rute formira se prema točki gdje završava ruta odlaska.

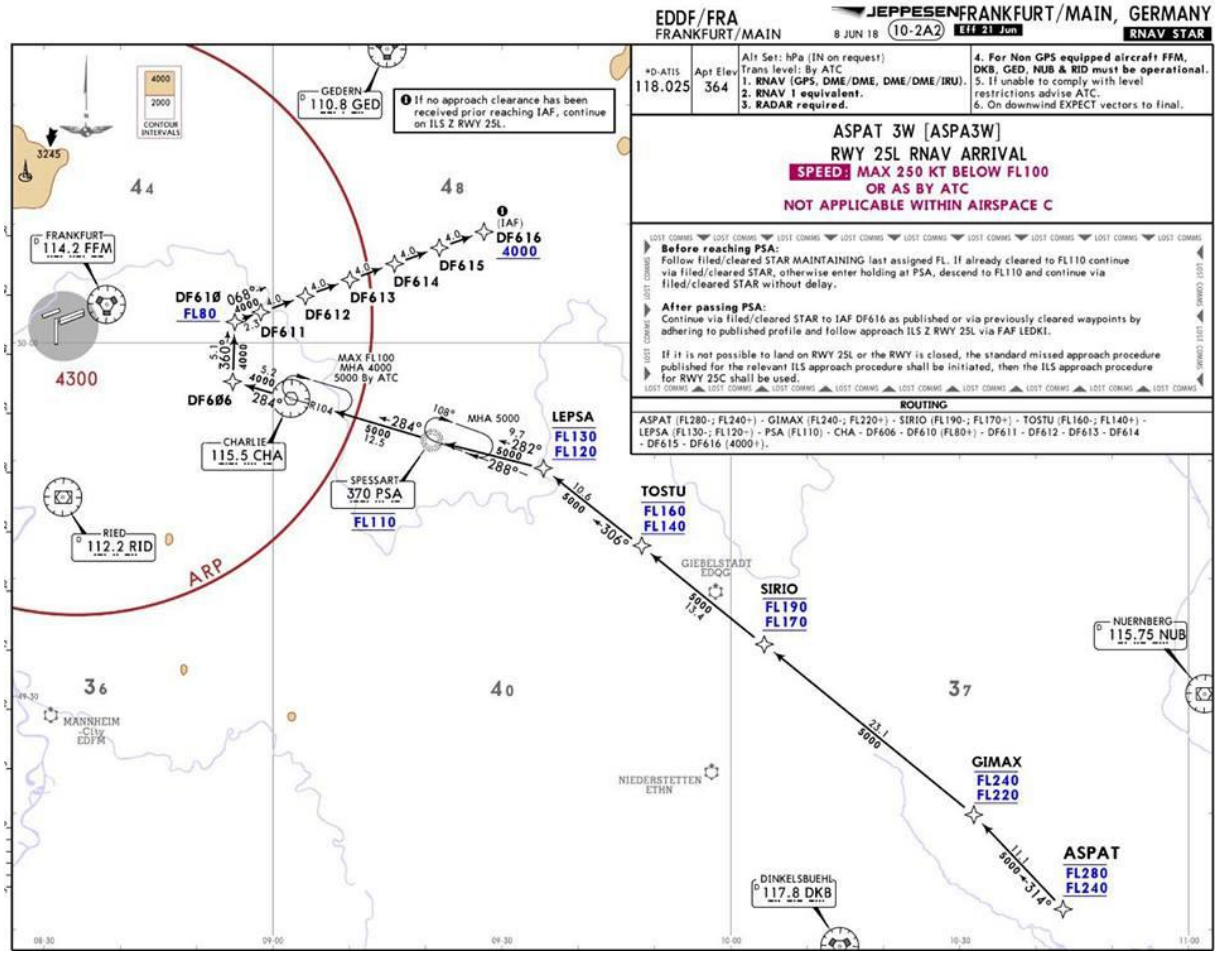
Uzimajući u obzir vjetar, staza za polijetanje bit će 05. Za polijetanje sa zračne luke Zagreb prema zračnoj luci Frankfurt na Majni najviše odgovara odlazak po zračnom putu OBUTI 2H (slika 5). Nakon polijetanja s uzletno-sletne staze 05, ići u smjeru 044° prema ZAG VOR (frekvencija 113.7). Udaljenost od uzletno-sletne staze do ZAG VOR-a je 12.7 nautičkih milja. Minimalna visina na ZAG VOR-u je 4000 stopa. Pri dolasku u na ZAG VOR, nastavlja se po radijalu 354 ZAG VOR prema točki OBUTI. Minimalna visina do točke OBUTI je 6000 stopa. Na točki OBUTI zrakoplov mora biti na minimalnoj razini leta FL130. Na 9500 stopa pilot mijenja postavku tlaka dobivenog na aerodromu na postavku standardnog tlaka 1013 hPa. Što znači da prije točke OBUTI pilot će promijeniti postavku tlaka. Minimalna sigurnosna visina je 5100 stopa.



Slika 5. Standardna instrumentalna ruta OBUTI 2H odlaska s aerodroma LDZA [9]

4.2. Standardna terminalna ruta dolaska na aerodrom

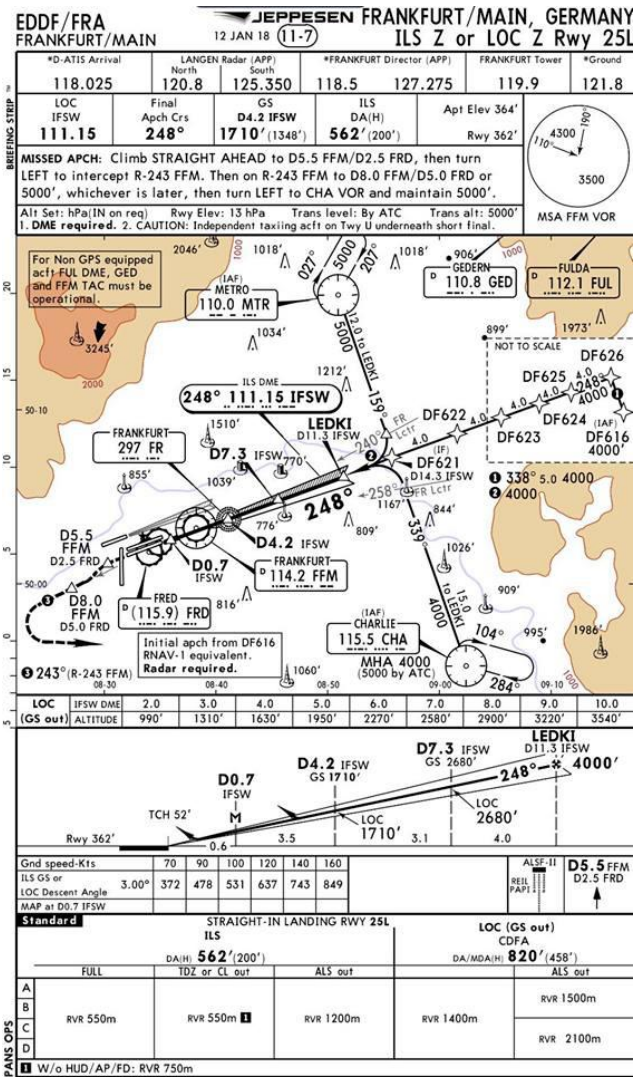
Nakon horizontalnog leta pilot počinje snižavati kako bi se približio aerodromu slijetanju. Zračna luka Frankfurt na Majni ima više prilaza, a koristi se onaj koji najviše odgovara smjeru iz kojeg zrakoplov dolazi. Preletom točke OBUTI, SUBEN, zračnog puta T161, zrakoplov dolazi na točku ASPAT. Na točki ASPAT kreće procedura prilaza ASPAT 3W, tj. prilaza zračnoj luci Frankfurt na Majni. Točka ASPAT određena je gornjom i donjom razinom leta. Gornja razina je FL280, a donja FL240. Na frekvenciji 118.025 valja poslušati informacije o aerodromu. Nakon toga zrakoplov prati točke GIMAX, SIRIO, TOSTU, LEPSA, DF606, DF611, DF612, DF613, DF614, FD615, DF616 (slika 6.). Na svakoj točki definirana je visina na kojoj zrakoplov mora biti. Ta ruta vodi zrakoplov u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini kako bi što sigurnije i brže uključio se u proceduru za slijetanje. Ispod FL100 maksimalna dopuštena brzina je 250 čvorova ili dobivena od kontrole zračne plovidbe. Na toj ruti kontrola zračne plovidbe obavijestit će pilota kada da promijeni postavku tlaka i na koju vrijednost. Očekuje se i vektoriranje za instrumentalni prilaz na ruti od DF611 do DF616.



Slika 6. Standardna terminalna ruta ASPAT 3W dolaska na aerodrom EDDF [9]

4.3. Instrumentalni prilaz na odredišni aerodrom

Za slijetanje na zračnu luku Frankfurt na Majni koristit će se ILS Z prilaz za stazu 25L(slika 7). Visina uzletno-sletne staze je 362 stope. 200 stopa iznad uzletno-sletne staze, na 562 stope nalazi se visina odluke. Visina odluke je minimalna visina na kojoj pilot mora vidjeti stazu u protivnom ne smije ići na slijetanje. Staza je u smjeru 248°. Zrakoplov leti u smjeru 248°, ako nema vjetra. Ako ima vjetra, pilot ispravlja smjer zrakoplova kako bi željena putanja iznosila 248°. Na udaljenosti od 11.3 nautičke milje od IFSW ILS odašiljača (frekvencija 111.15), na točki LEDKI zrakoplov smije početi spuštati s visine od 4000 stopa. Finalna provjera visine je na udaljenosti od 4.2 nautičke milje od IFSW ILS odašiljača i treba biti 1710 stopa. U slučaju se zrakoplov nalaze 100 stopa iznad ili ispod, tada zrakoplov ide u proceduru ponovnog prilaženja. Na stazi 25L nalaze se PAPI svijetla i minimalna vidljivost mora biti 550 metara. Minimalna sigurnosna visina je 3500 stopa.



Slika 7. Instrumentalni prilaz ILS Z uzletno-sletne staze 25L [9]

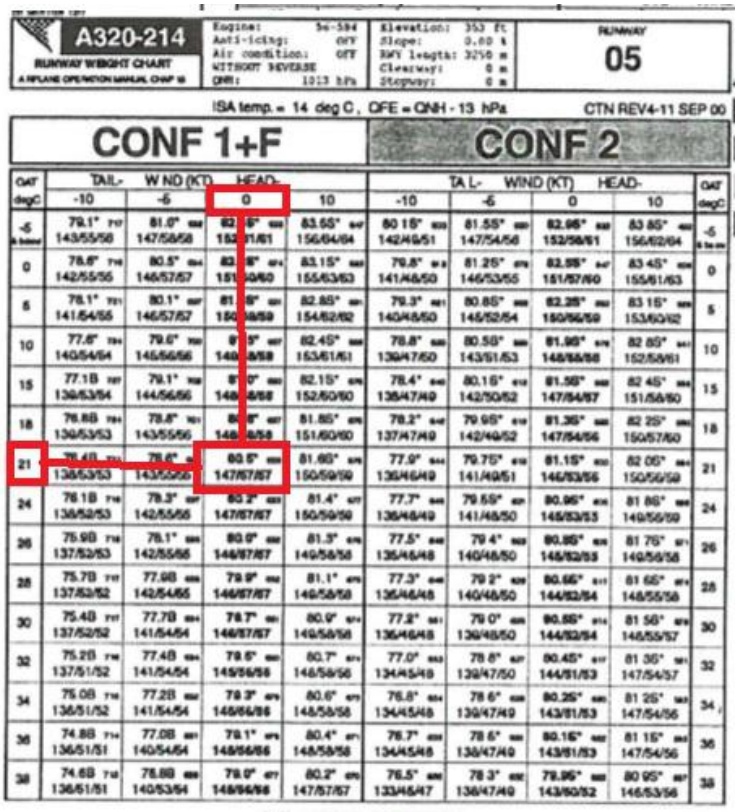
5. IZRAČUN PERFORMANSI ZRAKOPLOVA AIRBUS A320 ZA RUTU LDZA - EDDF

Dana 3.8.2018 prognoza za zračnu luku Zagreb izdana u 5:30 UTC je bez vjetra, temperatura 21°C, točka rosišta 20°C, vidljivost veća od 10 kilometara, baza oblaka iznad 5000 stopa i postavka tlaka 1018 hPa.[10]

Dana 3.8.2018 prognoza za zračnu luku Frankfurt na Majni izdana u 6:50 UTC je vjetar iz smjera 060° jačine 8 čvorova, temperatura 27°C, točka rosišta 17°C, vidljivost veća od 10 kilometara, baza oblaka iznad 5000 stopa i postavka tlaka 1021 hPa.[10]

5.1. Izračun performansi u polijetanju

Vanjska temperatura zraka je 21°C. Jačina vjetra je 0 čvorova. Zrakoplov uzlijeće u konfiguraciji 1+f. S navedenim podacima očitava se sa slike da je brzina V1 147 čvorova, brzina Vr 157 čvorova i brzina V2 157 čvorova(slika 8). Brzina V1 označava maksimalnu brzinu na kojoj pilot može prekinuti zatrčavanje. Vr je brzina na kojoj pilot rotira zrakoplov i odvaja ga od tla. Brzina V2 je minimalna brzina na kojoj je zrakoplov upravljiv i brzina koji zadovoljava pozitivan gradijent penjanja u slučaju otkaza jednog motora. Maksimalna dopuštena masa u polijetanju je 80500 kilograma.



Slika 8. Proračun brzina V1, Vr i V2 i maksimalne mase [4]

Uzletno-sletna staza nalazi se na visini 353 stopa. Za potrebe računanja postavke snage, zaokruženo je da je uzletno- sletna staza na visini 0 stopa i da je vanjska temperatura 20°C. Grafički je određeno da je maksimalna N1 pri polijetanju 89.9%. (slika 9)

Engine: CFM56-5B4/P — Speed=0 KT, A/C OFF, A/I OFF

TAKEOFF N1 - FULL THRUST

PRESSURE ALTITUDE [ft]	OAT [°C]													
	-30	-20	-10	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
-1000	81.2	82.8	84.3	85.8	86.6	87.3	88.1	88.8	89.5	90.2	90.9	91.7	92.4	92.2
0	82.2	83.8	85.4	86.9	87.6	88.4	89.2	89.9	90.6	91.3	92.0	92.8	93.3	92.9
1000	83.3	84.9	86.5	88.0	88.8	89.5	90.3	91.0	91.8	92.5	93.2	94.0	94.0	93.6
2000	84.3	86.0	87.6	89.1	89.9	90.7	91.4	92.2	92.9	93.6	94.4	95.1	94.6	94.1
3000	86.4	88.1	89.7	91.3	92.1	92.8	93.6	94.4	95.1	95.9	96.4	95.8	95.2	
4000	88.2	89.9	91.5	93.1	93.9	94.7	95.5	96.2	97.0	97.4	96.7	96.0	95.3	
5000	90.1	91.8	93.4	95.1	95.9	96.7	97.5	98.2	98.4	97.6	96.8	96.1	95.3	
6000	91.0	92.7	94.4	96.0	96.9	97.7	98.5	99.2	98.7	97.7	97.0	96.3		
7000	91.9	93.6	95.3	96.9	97.7	98.5	99.4	99.8	98.7	97.6	97.0	96.4		
8000	92.5	94.2	95.9	97.6	98.4	99.2	100.0	99.6	98.3	97.3	96.9			
9000	92.3	94.1	95.8	97.4	98.2	99.0	99.8	98.5	97.1	96.5	96.2			
9200	92.3	94.0	95.7	97.3	98.2	99.0	99.7	98.3	96.8	96.4	96.0			

Slika 9. postavka snage u polijetanju [4]

Motori zrakoplova proizvode konstantu snage do određene temperature. Nakon te temperature snaga potiska pada. To su flat-rated motori.

5.2. Izračun performansi u penjanju

Zrakoplov mora popeti s visine aerodrom na razinu FL360. Masa zrakoplova na polijetanju je 67230 kilograma. Iz slike je vidljivo da nema FL360 i mase od 67230 stoga će se morati interpolirati (slika 10). Penjanje se izvodi maksimalnim potiskom za penjanje, čiste konfiguracije, normalni sustav rada klime i bez sustava protiv zaleđivanja. Da bi zrakoplov

popeo na razinu FL360 potrebno mu je 25 minuta. U tih 25 minuta zrakoplov potroši 1919 kilograma goriva. Zrakoplov preleti 164 nautičke milje i srednja zračna brzina mu je 393 čvorova.

A320: 9A-CTJ,CTK	CLIMB 2 ENGINES - 250 kt/300 kt/M 0.78							
MAX. CLIMB THURST CLEAN CONFIGURATION NORMAL AIR CONDITIONING WITHOUT ANTI ICING	ISA+10 CG POSITION 30 %				FROM BRAKE RELEASE TIME –min FUEL –kg DIST. -NM MEAN TAS –kt			
	WEIGHT AT BRAKE RELEASE-ton							
FL	78	74	70	66	62	58	54	50
390					26 1871 174 403	23 1659 150 400	20 1483 132 397	18 1331 117 395
370			28 2128 189 400	25 1888 164 396	22 1694 144 393	20 1528 129 392	18 1381 115 390	16 1247 103 388
350	31 2428 209 399	27 2148 179 39[illegible]	24 1921 158 390	22 1736 141 388	20 1575 126 386	18 1430 114 384	16 1298 103 383	15 1176 93 382
330	27 2172 173 388	24 1958 153 384	22 1777 138 382	20 1618 124 380	18 1475 113 378	16 1344 102 377	15 1223 92 376	13 1110 83 374
310	24 1987 149 377	21 1809 134 375	20 1652 121 373	18 1510 110 371	16 1381 100 370	15 1261 91 369	14 1150 83 368	12 1046 75 366
290	21 1821 128 366	19 1667 116 364	18 1527 106 362	16 1401 97 360	15 1284 88 359	13 1175 80 358	12 1072 73 357	11 976 66 356
270	18 1635 106 351	17 1503 97 349	15 1383 89 348	14 1272 82 346	13 1168 75 345	12 1070 68 345	11 979 62 344	10 892 57 343
250	16 1477 89 337	15 1362 82 336	14 1256 75 334	12 1157 69 333	11 1064 64 332	11 977 58 331	10 894 53 331	9 816 48 330
240	15 1405 82 331	14 1297 75 329	13 1197 69 328	12 1104 64 326	11 1016 59 326	10 933 54 325	9 854 49 324	8 780 45 323
220	13 1272 69 318	12 1177 64 316	11 1088 59 315	10 1004 54 313	10 925 50 313	9 850 46 312	8 779 42 312	7 712 38 311
200	12 1151 59 305	11 1066 54 303	10 986 50 302	9 911 46 300	9 840 42 300	8 773 39 299	7 709 36 299	7 648 33 298
180	10 1038 49 291	9 962 46 290	9 891 42 288	8 824 39 287	8 760 36 287	7 699 33 286	6 642 30 285	6 587 28 284
160	9 933 41 278	8 866 38 276	8 802 35 275	7 742 33 274	7 685 30 273	6 630 28 272	6 578 25 272	5 529 23 271
140	8 835 35 264	7 775 32 262	7 718 30 261	6 664 27 259	6 613 25 259	5 564 23 258	5 518 21 257	5 474 19 256
120	7 741 28 249	6 688 26 247	6 638 24 246	6 590 23 244	5 545 21 243	5 501 19 243	4 460 18 242	4 421 16 241
100	5 592 20 222	5 549 18 220	5 509 17 218	4 471 16 217	4 435 14 216	4 400 13 215	3 367 12 214	3 336 11 213
50	3 381 10 186	3 355 10 184	3 330 9 181	3 305 8 180	3 282 8 178	2 260 7 178	2 238 6 177	2 218 6 176
15	2 237 5 139	2 221 4 136	2 205 4 133	2 190 4 131	2 175 4 130	2 161 3 129	1 148 3 128	1 136 3 128
LOW AIR CONDITIONING Δ FUEL = -0.6%			HIGH AIR COND. Δ FUEL = +0.6%		ENGINE ANTI ICE ON Δ FUEL = +2.5%		TOTAL ANTI ICE ON Δ FUEL = +5%	

12.1-105 A320-214 CFM56-5B4/P SA21100000C5KG300 0 018400 0 0 2 1.3 300.0 500.00 1 03250.000300.000 0.780 10

Slika 10. određivanje performansi u penjanju [4]

5.3. Izračun performansi u krstarenju

Kada zrakoplov dostigne razinu leta FL360, prelazi horizontalni let. To je jedini režim leta gdje nema promjene u visini. Zrakoplov leti u čistoj konfiguraciji, slab rad

klimatizacijskog sustava, bez sustava protiv zaleđivanja. Iz slike 13 interpolacijom se izračunava da zrakoplov leti brzinom 0.78 Machova broja. Temperatura ispušnih plinova je 607 °C. Postavka snage N1 je 83.1 %. Indicirana brzina je 260 čvorova. Zračna brzina je 449 čvorova. Prosječni vjetar na FL360 je iz smjera 000°, jačine 15 čvorova, što znači da je zemaljska brzina 445 čvorova. Zrakoplov preleti 215 nautičkih milja. Potrebno mu je 29 minuta. Potrošnja goriva je 1265 kilograma po satu. Zrakoplov potroši 611 kilograma goriva. Specifični dolet je 178 nautičkih milja po toni, što znači da zrakoplov potroši 1000 kilograma goriva kada preleti 178 nautičkih milja.(Slika 11)

A320 9A-CTJ, CT

STANDARD CRUISE - ALL ENGINES RUNNING

A320-214
300 KT / MACH .78
ISA
CG POSITION 30%

FMS SIMULATION
CLEAN CONFIGURATION
LOW AIR CONDITIONING
WITHOUT ANTI ICING

WEIGHT ton	FL150	FL200	FL250	FL270	FL290	FL310	FL330	FL350	FL370	FL390
80	568 .593 72.8 300 1554 371 119.5	585 .651 76.2 300 1552 400 128.9	602 .717 79.7 300 1561 432 138.2	609 .745 81.2 300 1560 445 142.6	622 .775 82.6 300 1573 459 145.8	628 .780 83.7 289 1539 458 148.7	638 .780 85.0 277 1516 454 149.6			
75	563 .593 72.0 300 1515 371 122.6	579 .651 75.5 300 1511 400 132.4	595 .717 78.9 300 1516 432 142.3	602 .745 80.4 300 1514 445 146.9	612 .775 81.8 300 1515 459 151.4	616 .780 82.5 289 1466 458 156.1	622 .780 83.6 277 1429 454 158.7	633 .780 85.1 264 1414 450 158.9		
70	558 .593 71.3 300 1479 371 125.6	573 .651 74.8 300 1474 400 135.7	589 .717 78.2 300 1475 432 146.2	596 .745 79.7 300 1476 445 150.7	604 .775 81.1 300 1467 459 156.4	605 .780 81.6 289 1406 458 162.8	607 .780 82.3 277 1354 454 167.5	615 .780 83.5 264 1323 450 169.9		
65	553 .593 70.7 300 1447 371 128.4	568 .651 74.2 300 1441 400 138.8	584 .717 77.6 300 1440 432 149.9	591 .745 79.0 300 1440 445 154.5	597 .775 80.5 300 1426 459 160.8	596 .780 80.8 289 1358 458 168.6	595 .780 81.2 277 1290 454 175.8	599 .780 82.1 264 1246 450 180.4	615 .780 83.7 252 1227 447 182.3	
60	550 .593 70.1 300 1418 371 131.0	563 .651 73.7 300 1412 400 141.7	580 .717 77.1 300 1408 432 153.3	586 .745 78.5 300 1412 445 157.6	591 .775 79.9 300 1396 459 164.4	589 .780 80.2 289 1316 458 173.8	585 .780 80.4 277 1241 454 182.8	585 .780 80.8 264 1180 450 190.5	596 .780 82.1 252 1147 447 195.0	621 .780 84.2 241 1139 447 196.4
55	546 .593 69.6 300 1392 371 133.5	559 .651 73.2 300 1386 400 144.3	575 .717 76.6 300 1379 432 156.5	582 .745 78.0 300 1386 445 160.5	586 .775 79.4 300 1369 459 167.5	582 .780 79.6 289 1284 458 178.2	577 .780 79.6 277 1199 454 189.1	574 .780 79.8 264 1130 450 199.0	580 .780 80.6 252 1080 447 207.2	600 .780 82.4 241 1056 447 211.9
50	543 .593 69.2 300 1369 371 135.7	555 .651 72.8 300 1363 400 146.8	572 .717 76.1 300 1356 432 159.1	579 .745 77.5 300 1363 445 163.2	582 .775 79.0 300 1346 459 170.4	577 .780 79.1 289 1260 458 181.7	570 .780 79.0 277 1167 454 194.4	565 .780 79.0 264 1089 450 206.5	568 .780 79.6 252 1029 447 217.4	582 .780 80.8 241 988 447 226.4
45	540 .593 68.8 300 1349 371 137.7	552 .651 72.5 300 1344 400 148.9	569 .717 75.7 300 1336 432 161.5	576 .745 77.2 300 1343 445 165.6	578 .775 78.6 300 1326 459 173.0	572 .780 78.6 289 1237 458 185.0	565 .780 78.5 277 1143 454 198.5	558 .780 78.4 264 1056 450 212.8	559 .780 78.7 252 988 447 226.3	569 .780 79.6 241 937 447 238.6

EGT °C MACH
N1% IAS - KT
FF/ENG kg/h TAS - KT
SR NM/ton

Slika 11. određivanje performansi u krstarenju [4]

5.4. Izračun performansi u spuštanju

Da bi se dobio točan rezultat vremena u spuštanju, potrošenog goriva i pređene udaljenosti potrebno je interpolirati. Zrakoplov spušta s razine leta FL360 i ima masu 64046 kilograma. Zrakoplov spušta čiste konfiguracije, bez sustava protiv zaleđivanja i s jakom postavkom klimatizacije. S obzirom da je temperatura za 10 stupnjeva veća od standardne gorivo se mora povećati za 2 posto i udaljenost za 3 posto. Interpolacijom se dobiva da zrakoplov spušta 22 minute i potroši 258 kilograma goriva (slika 12). Zrakoplov preleti 114 nautičke milje s indiciranom brzinom 251 čvorova. Postavka N1 je na IDLE.

A320-2

STANDARD DESCENT 2 ENGINE									A320-214
M0.76/280/250KT ISA IDLE CG = 30.0 %					CLEAN CONFIGURATION HIGH AIR CONDITIONING WITHOUT ANTI ICING				
WEIGHT (ton)	50				70				
FL	TIME (min)	FUEL (kg)	DIST. (NM)	N1	TIME (min)	FUEL (kg)	DIST. (NM)	N1	IAS (kt)
390	21.8	249	108	IDLE					234
370	21.0	245	103	IDLE	22.8	260	119	IDLE	245
350	20.4	241	98	IDLE	22.1	256	113	IDLE	257
330	19.8	237	94	IDLE	21.4	252	108	IDLE	269
310	19.3	234	90	IDLE	20.8	248	104	IDLE	280
290	18.5	229	84	IDLE	19.9	243	97	IDLE	280
270	17.8	225	79	IDLE	19.0	237	91	IDLE	280
250	17.1	220	74	IDLE	18.1	231	85	IDLE	280
240	16.7	218	72	IDLE	17.7	228	82	IDLE	280
220	15.9	212	67	IDLE	16.7	221	75	IDLE	280
200	15.1	204	62	IDLE	15.7	211	69	IDLE	280
180	14.3	195	56	IDLE	14.6	200	63	IDLE	280
160	13.4	183	51	IDLE	13.5	186	56	IDLE	280
140	12.4	170	45	IDLE	12.4	170	49	IDLE	280
120	11.5	157	40	IDLE	11.2	154	43	IDLE	280
100	10.5	145	35	IDLE	10.1	139	37	IDLE	280
50	7.3	112	20	IDLE	6.4	102	19	IDLE	250
15	5.5	96	12	IDLE	4.3	83	10	IDLE	250

CORRECTIONS	LOW AIR CONDITIONING	ENG ANTI ICE ON	TOTAL ANTI ICE	PER 10°ABOVE ISA
TIME	-	+ 6 %	+ 6 %	-
FUEL	- 2 %	+ 28 %	+ 44 %	+ 2 %
DISTANCE	-	+ 3 %	+ 4 %	+ 3 %

13.2-113 A320-214 CFM56-5B4/P SA23100000C5KG300 0 018400 0 0-1 0.0 0.0 0.00 1 03 0.760280.000250.000 0

Slika 12. određivanje performansi u spuštanju [4]

5.5. Izračun performansi prilikom slijetanja

Prilikom slijetanja važno je zadovoljiti da potrebna duljina za zaustavljanje bude manja od duljine uzletno-sletne staze. Zrakoplov slijeće na zračnu luku Frankfurt na Majni na stazu 25L. Duljina te uzletno-sletne staze je 4000 metara. Uzimajući u obzir vrijeme na aerodromu možemo zaključiti da nema leđnog vjetra i da je uzletno-sletna staza suha. Zrakoplov je u full konfiguraciji za slijetanje. Zrakoplov slijeće s masom od 63788 kilograma goriva što znači da ćemo morati interpolirati kako bi došli do duljine potrebne piste za zaustavljanje. Interpolacijom se dobiva da je zrakoplovu potrebno 885 metara staze.(Slika 13)

CONF FULL				A320-214
LANDING WEIGHT [ton]	ACTUAL LANDING DISTANCE [m]			
	DRY RWY WIND [kt]		WET RWY WIND [kt]	
	TAIL -10	0	TAIL -10	0
78	1350	1170	1830	1510
74	1270	1090	1750	1440
70	1190	1010	1650	1360
66	1090	920	1550	1280
62	1000	850	1480	1220
58	930	820	1400	1150
54	890	780	1310	1080
50	860	750	1230	1010
46	820	720	1150	950

Slika 13. duljina za zaustavljanje u slijetanju [4]

6. SIMULACIJA PLANIRANE RUTE UPORABOM FMGS PROGRAMA

Podaci korišteni za analizu su preuzeti iz simuliranog sustava FMGS-a u vlasništvu Croatia Airlines. Podaci su preuzeti iz razloga što se nije moglo pristupiti odgovarajućem programu.

Da bi se simulirala planirana ruta uz pomoć FMGS programa, potrebno je bilo instalirati FMGS simulator. Bilo je mnogobrojnih pokušaja koji su uglavnom završavali preuzimanjem virusa umjesto simulatora. Početni plan bio je korištenje online simulatora. Događala se greška da simulator nema zadovoljavajuće podatke za navedenu rutu. Kada se upiše aerodrom polijetanja – LDZA, simulator izbaci grešku da ne postoji u sustavu LDZA. Jedan od pokušaja simuliranja rute završio je preuzimanjem programa koji nije sadržavao ažurirane podatke pa se moralo u samom programu mijenjati nazive i koordinate točaka. Zatim je program bio za zrakoplov Airbus A330, umjesto za Airbus A320, a podaci o performansama zrakoplova nisu se mogla promijeniti. Pokušalo se također i preuzeti simulator na tablet, ali pokretanje simulatora traži da se kupi program, a nije sigurno hoće li simulator zadovoljiti potrebe za simuliranjem rute. Preuzimanje programa Microsoft Flight Simulator 2004 nije imalo koristi jer dostupne verzije programa nisu imale zrakoplov Airbus A320 u bazi. Nakon mnogobrojnih neuspjelih pokušaja osposobljavanja FMGS simulatora kao jedino rješenje bilo je preuzeti podatke iz simuliranog sustava FMGS u vlasništvu Croatia Airlines.

Upisivanjem sljedeće navedenih podataka u FGMS sustav, sustav izračunava elemente performansi i navigacijske elemente koje se koriste u letu:

- Aerodrom polijetanja: LDZA
- Aerodrom slijetanja: EDDF
- Alternativni aerodrom: EDDK, EDDL
- Visina krstarenjenja i temperatura: FL360
- Cost indeks: 33
- Vjetar

Upisivanjem aerodroma polijetanja, pilot dobije izbor da izabere uzletno-sletnu stazu. Zbog vjetra pilot bira uzletnu-sletnu stazu 05. Nakon toga nude se mogućnosti biranja standardnih instrumentalnih ruta odlaska s aerodroma. Pilot bira OBUTI 2H rutu.

Upisivanjem odredišnog aerodroma pilotu se nude mogućnosti biranja uzletno-sletne staze, zatim procedure prilaza na uzletno-sletnu stazu i standardne terminalne dolaske na aerodrom. Pilot bira uzletno-sletnu stazu 25L i proceduru prilaza ILS Z uzletno-sletne staze 25L.

Alternativni aerodrom se također upisuje i izabire isto kao i za odredišni procedura prilaza i standardna terminalna procedura dolaska na aerodrom.

Cost indeks služi za optimizaciju brzine leta zrakoplova. To je omjer između troškova vremena i troškova goriva. Ako je indeks relativno manji tada znači da je trošak vremena manji, a trošak goriva veću što znači da će zrakoplov letjeti u ekonomičnim uvjetima kako bi što više uštedio na gorivu. Cost indeks leta je 33.

Visina krstarenja na kojoj zrakoplov leti uvijek je ona optimalna kako bi se što više zaradilo. Na istom mjestu unosi se temperatura kako bi sustav mogao uspoređivati vrijednosti za standardnim vrijednostima i preciznije računao performanse.

Vjetar se automatski ažurira prema stvarnim podacima na različitim razinama leta. Vjetar na polijetanju nije bilo, a na slijetanju je bio iz smjera 060 i jačine 8 čvorova. U sustav se upisuje maksimalna masa goriva u polijetanju, slijetanju i bez goriva, zatim broj putnika, teret, granice pozicija centra težišta. Sustav obrađuje podatke i analizira.

```
-----------------------------------------------------------------------
AWY        POSITION     DIST  TRK TIME LVL  TP  W/V    TAS  RFU/ACT
MORA                                          T         GS    USED/..
-----------------------------------------------------------------------
      LDZA/05   A/B
-----------------------------------------------------------------------
SID    N46.22.7E016.16.4  44         9 CLB  36  36/000      5339 ...
103    OBUTI             441      0009     M00                891 ...
                                  ../..
-----------------------------------------------------------------------
                         111        15      36  36/000      4373 ...
TOC                      330      0024 360 P00              1857 ...
                                  ../..
-----------------------------------------------------------------------
       N48.26.2E013.20.2  60 T316    8      36  36/000 455  4035 ...
31     SUBEN             269      0032     -55         454  2195 ...
                                  ../..
-----------------------------------------------------------------------
T161   N48.32.3E012.56.9  17 T292    2      36  36/000 455  3944 ...
33     NENUM             253      0034     -56         455  2286 ...
                                  ../..
-----------------------------------------------------------------------
T161   N48.45.0E012.07.5  35 T291    5      36  36/000 455  3753 ...
33     AKINI             218      0039     -56         454  2477 ...
                                  ../..
-----------------------------------------------------------------------
T161   N48.48.1E011.38.0  20 T279    2      36  36/000 455  3645 ...
36     NIMDI             198      0041     -56         455  2585 ...
                                  ../..
-----------------------------------------------------------------------
T161   N48.50.7E011.13.2  16 T279    2      36  36/000 455  3555 ...
41     ERNAS             181      0043     -56         455  2675 ...
                                  ../..
-----------------------------------------------------------------------
T161   N48.57.8E011.03.3  10 T318    2      36  36/000 455  3503 ...
41     GOLMO             172      0045     -56         455  2727 ...
                                  ../..
-----------------------------------------------------------------------
T161   N49.04.8E010.53.4  10 T317    1      36  36/000 455  3451 ...
40     REDNI             162      0046     -56         455  2779 ...
                                  ../..
-----------------------------------------------------------------------
RSTAR  N49.19.9E010.31.9  11 T317    2      36  36/000 455  3339 ...
35     GIMAX             142      0049     -56         455  2891 ...
                                  ../..
-----------------------------------------------------------------------
RSTAR  N49.34.4E010.04.4  23 T309    3      36  36/000 455  3214 ...
34     SIRIO             118      0052     -56         455  3016 ...
                                  ../..
-----------------------------------------------------------------------
                           2 T309    0 DES  36  36/000 455  3207 ...
TOD                      117      0052     -56         455  3023 ...
                                  ../..
-----------------------------------------------------------------------
RSTAR  N49.55.3E009.02.4  44         6 DES      36/000      3173 ...
31     CHA       115.5    72      0058                      3057 ...
                                  ../..
-----------------------------------------------------------------------
                          73        17          36/000      2909 ...
       EDDF/25L            0      0115                      3321 ...
                                  ../..
```

Slika 14. Proračun [3]

Vrijeme potrebno od aerodroma polijetanja do visine krstarenja FL360 24 minute. U penjanju zrakoplov preleti 155 nautičkih milja. Zrakoplov potroši 1857 kilograma goriva. U horizontalnom letu zrakoplov provede 28 minuta i preleti 212 nautičkih milja. Leti zemaljskom brzinom 455 čvorova. Zrakoplov u horizontalnom letu potroši 1166 kilograma goriva. Od visine krstarenja do slijetanja na aerodrom zrakoplovu je potrebno 23 minute. Zrakoplov preleti 117 nautičkih milja i potroši 298 kilograma goriva. U proračune nije uračunat vjetar. (Slika 14)

7. STVARNI PODACI S RUTE

7.1. Meteo podaci s aerodroma

LDZA 030530Z 00000KT CAVOK 21/20 Q1018 NOSIG [10]

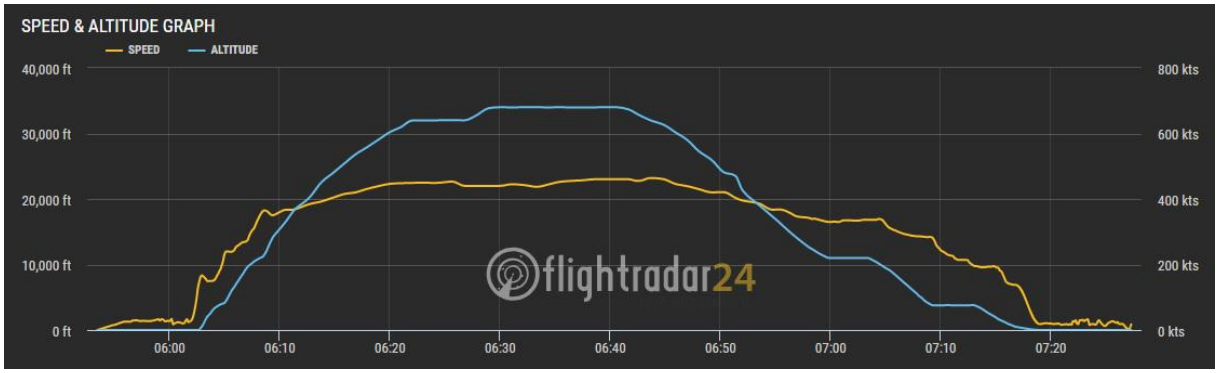
Na aerodromu u Zagrebu 3.8.2018 u 5 sati i 30 minuta po UTC nema vjetra, vidljivost veća od 10 kilometara, baza oblaka viša od 5000 stopa. Temperatura 21°C, točka rosišta 20°C, postavka tlaka 1018 hPa.

EDDF 030650Z 06008KT CAVOK 27/17 Q1021 NOSIG [10]

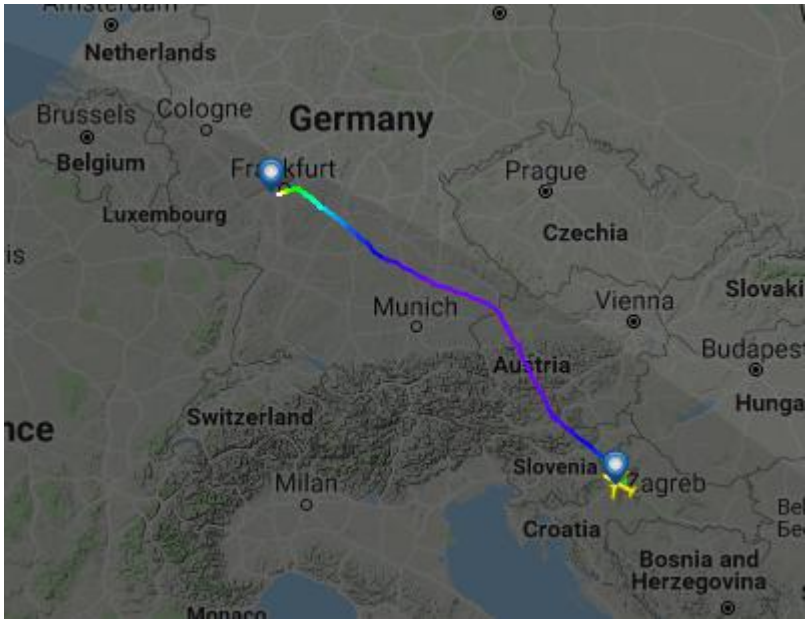
Na aerodromu Frankfurt na Majni 3.8.2018 u 6 sati i 50 minuta po UTC vjetar je iz smjera 060°, jačine 8 čvorova, vidljivost veća od 10 kilometara, baza oblaka viša od 5000 stopa. Temperatura 27°C, točka rosišta 17°C, postavka tlaka 2021 hPa.

7.2. Vrijeme, brzina, visina, ruta

Zrakoplov je poletio s uzletno-sletne staze 05. Koristio je proceduru odlaska s aerodroma PODET 4C. Po dolasku na točku PODET, zrakoplov leti direktno prema točki SUBEN i penje na FL340, potom nastavlja horizontalno. Da zrakoplov popne s visine aerodroma polijetanja do FL340 zrakoplovu je bilo potrebno 27 minuta, te preleti 173 nautičke milje. Zrakoplov u horizontalnom letu provede 12 minuta. Prosječna zemaljska brzina zrakoplova je 450 čvorova, a zračna 456 čvorova. Znači da je zrakoplov prosječno u horizontalnom letu ima čeonog vjetra 6 čvorova. Zrakoplov direktno leti prema točki ASPAT na kojoj započinje standardna terminalna procedura dolaska na aerodrom Frankfurt na Majni. Zrakoplovu s FL340 do slijetanja na aerodrom potrebno je 39 minuta. Zrakoplov je koristio proceduru ASPAT 3E za dolazak do aerodroma. Za slijetanje na aerodrom zrakoplov koristi proceduru ILS Z uzletno-sletne staze 07R. Slika 15 prikazuje da je zrakoplov otpustio kočnice u 5:53 UTC i pritisnuo u 7:27 UTC. Trajanje leta je 1 sat i 34 minute, a vrijeme provedeno u zraku je 1 sat i 17 minuta. Slika 16 prikazuje horizontalni profil leta. [11]



Slika 15. Stvarna brzina i visina [11]



Slika 16. Stvarna putanja zrakoplova [11]

8. ANALIZA REZULTATA

8.1. Aerodrom polijetanja LDZA do TOC

U planiranju letenja planirala se OBUTI 2H instrumentalna ruta odlaska s aerodroma LDZA, dok se u stvarnom letu koristila instrumentalna ruta PODET 4C.(Slika 16)

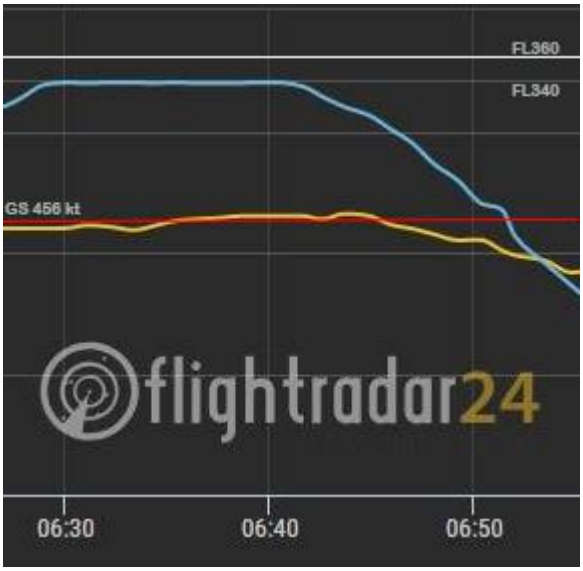
Slika 17. Usporedba instrumentalnih ruta odlaska s aerodroma LDZA [9]

Zrakoplov polijeće s uzletno-sletne staze 05 u oba slučaja. Planirana instrumentalna ruta odlaska je da zrakoplov leti prema ZAG VOR, pri preletu VOR-a leti po radijalu R354 prema točki OBUTI i minimalna razina na kojoj mora biti na točki OBUTI je FL130. Stvarnom rutom zrakoplov se kretao prema točki PODET. Pri polijetanju zrakoplov leti prema ZAG VOR, nakon preleta VOR-a zrakoplov leti po radijalu R297 prema točki PODET i minimalna visina na kojoj treba biti 8000 stopa. Na točki PODET zrakoplov se nalazi nakon 9 minuta od polijetanja i prešao je 43 nautičke milje. Prema izračunima zrakoplov bi trebao biti na točki OBUTI nakon 9 minuta i prijeći 44 nautičke milje. Na najvišu točku prilikom penjanja zrakoplov dolazi 27 minuta nakon polijetanja. Od aerodroma polijetanja do najviše točke penjanja zrakoplov je preletio 173 nautičke milje. Najviša točka nalazi se na FL340. Kada se ruta planirala, izračunato je da zrakoplov dolazi na najvišu točku penjanja 24 minute nakon polijetanja i preleti 155 nautičke milje. Najviša planirana, a ujedno i visina krstarenja je FL360. Zrakoplov

pr i konvencionalnom proračunu potroši 1919 kilograma goriva, dok uz pomoć FMGS proračuna potroši 1857 kilograma goriva.

8.2. Horizontalni let

Zrakoplov je horizontalnom režimu letio 12 minuta. Visina krstarenja je FL340. Prosječna zračna brzina zrakoplova je 456 ,a prosječna zemaljska 450 čvora. Zrakoplov preleti 90 nautičkih milja. U planiranju horizontalni let traje 28 minuta. Zrakoplov preleti 212 nautičkih milja. Prosječna zemaljska brzina je 456 čvorova. Pri konvencionalnom proračunu zrakoplov potroši 611 kilograma goriva, a pri proračunu uz pomoć FMGS zrakoplov potroši 1166 kilograma goriva.

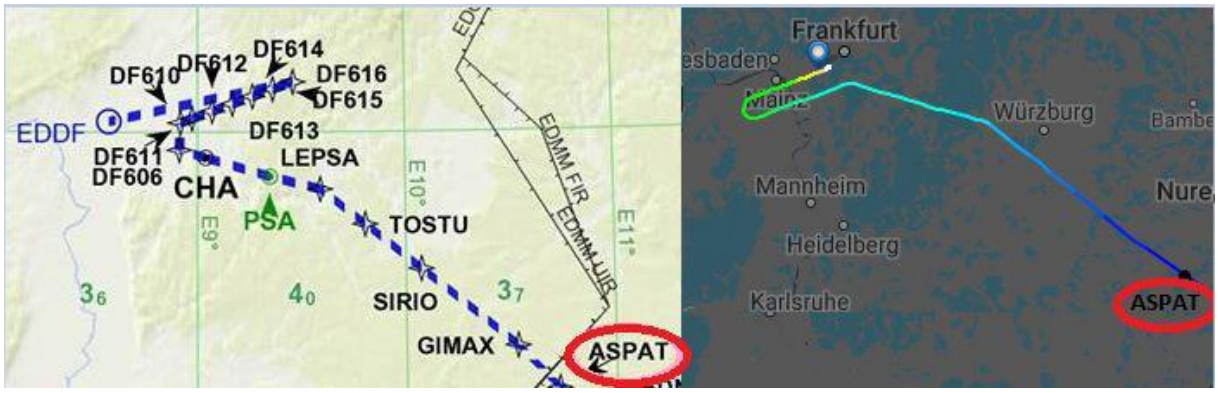


Slika 18. Usporedba visine i brzine u horizontalnom letu [11]

Slika 17. prikazuje odnos stvarne i proračunate visine i brzine u odnosu na vrijeme. Bijela boja prikazuje proračunatu visinu krstarenja, a plava boja predstavlja stvarnu visinu krstarenja. Crvena boja predstavlja proračunatu zemaljsku brzinu, a žuta boja prikazuje stvarnu zemaljsku brzinu zrakoplova.

8.3. TOD do aerodroma slijetanja EDDF

Od najviše točke spuštanja (FL340) do aerodroma EDDF, zrakoplovu je potrebno 39 minuta. Zrakoplov preleti 218 nautičkih milja u spuštanju.(Slika 18) U planiranju izračunato je da je zrakoplovu potrebno 23 minute i da preleti 117 nautičkih milja. Za prilaz aerodromu zrakoplov koristi ASPAT 3E proceduru, dok je planirana bila ASPAT 3W. Prilaz je sličan planiranom, ali se razlikuje po smjeru slijetanja. Zrakoplov slijeće na uzletno-sletnu stazu 07R i koristi ILS Z proceduru slijetanja za stazu 07R. Zrakoplov pri konvencionalnom proračunu potroši 258 kilograma goriva u spuštanju, a u proračunu uz pomoć FMGS-a zrakoplov potroši 298 kilograma goriva.



Slika 19. Usporedba prilaza na aerodrom EDDF [9]

8.4. Tablični prika rezultata

Tablica 1. Usporedba vremena, udaljenosti, brzine i potrošnje goriva u različitim režimima leta.

		penjanje			**horizontalni let**				**spuštanje**		
	visina krstarenja (FL)	vrijeme (min)	udaljenost (NM)	potrošeno gorivo(kg)	vrijeme (min)	udaljenost (NM)	potrošeno gorivo(kg)	zemaljska brzina (kts)	vrijeme (min)	udaljenost (NM)	potrošeno gorivo(kg)
Konvencionalan proračun	FL360	25	164	1919	29	215	611	445	22	114	258
FGMS proračun	FL360	24	155	1857	28	212	1166	455	23	117	298
Stvarni podaci	FL340	27	173	x	12	90	x	450	39	134	x

Tablica 1. prikazuje tablično prikazano dobivene i izračunate podatke. Već po visini se vidi da stvarna ruta nije kao ona planirana. Planirana ruta razlikuje se od stvarne i po standardnoj proceduri odlaska s aerodroma kao i po standardnoj proceduri dolaska i slijetanja na aerodrom. Stoga je jasno da se razlikuju udaljenosti, brzine, vremena, visine i potrošnje goriva. Oznaka x označava nepoznat podatak u tablici 1.

Tablica 2. Usporedba ukupnog vremena, udaljenosti i potrošnje goriva

	ukupna udaljenost (NM)	**ukupno vrijeme (min)**	**ukupna potrošnja goriva(kg)**
konvencionalan proračun	493	76	2788
FGMS proračun	484	75	3321
Stvarni podaci	397	78	x

Tablica 2. prikazuje ukupne udaljenosti, ukupno vrijeme i ukupnu potrošnju goriva leta za konvencionalni proračun, FMGS proračun i stvarne podatke. Oznaka x označava nepoznat podatak u tablici 2.

Tablica 3. Odnos proračunatih brzina, udaljenosti i visina u odnosu na stvarne u različitim režimima leta

	penjanje		**horizontalni let**			**spuštanje**	
	vrijeme(min)	udaljenost (NM)	vrijeme (min)	udaljenost (NM)	zemaljska brzina (kts)	vrijeme (min)	udaljenost (NM)
konvencionalan proračun	-7%	-5%	142%	139%	-1%	-44%	-15%
FGMS proračun	-11%	-10%	133%	136%	1%	-41%	-13%

Tablica 3. i prikazuju odnose između proračunatih podatka u odnosu na stvarne podatke. Rezultati su izraženi u postocima. Vrijeme penjanja 7% je manja od stvarne za

konvencionalni proračun, a proračun uz pomoć FMGS sustava je 11% manji od stvarnog. Udaljenost koju zrakoplov preleti u penjanju je 5% manja za konvencionalan proračun, a za FMGS je 10% manja od stvarne. Vrijeme u horizontalnom letu je 142% veće za konvencionalni i 133% veće za FMGS proračun u odnosu na stvarno vrijeme. Udaljenost u horizontalnom letu je 139% veće za konvencionalni i 136% veće za FMGS proračun u odnosu na stvarnu udaljenost. Zemaljska brzina u horizontalnom letu je 1% manja za konvencionalni i 1% veća za FMGS proračun u odnosu na stvarnu zemaljsku brzinu. U spuštanju pri konvencionalnom izračunu vrijeme je 44% manje, a udaljenost 15% manje od stvarnog. Proračun uz pomoć FMGS sustava u spuštanju izračunao je 41% manje vrijeme i 13% manju udaljenost od stvarnog.

Tablica 4. Odnos proračunatog ukupnog vremena i udaljenosti u odnosu na stvarne

	ukupna udaljenost (NM)	**ukupno vrijeme (min)**
konvencionalan proračun	24%	-3%
FGMS proračun	22%	-4%

Tablica 4. prikazuje ukupnu izračunatu udaljenost i ukupno izračunato vrijeme u odnosu na stvarno. Rezultati su prikazani u postocima. Ukupna udaljenost pri konvencionalnom proračunu je 24% veća od stvarne, a pri proračunu uz pomoć FMGS sustava ukupna udaljenost je 22% veća od stvarne. Ukupno vrijeme pri konvencionalnom proračunu je 3% manje od stvarne, a pri proračunu uz pomoć FMGS sustava ukupna vrijeme je 4% manje od stvarnog.

S obzirom na nepoznat podatak stvarnog potrošenog goriva, usporedit će se konvencionalni proračun i proračun uz pomoć FMGS sustava.

Tablica 5. Odnos proračunatih potrošnja goriva konvencionalnim putem u odnosu na proračun putem FMGS-a

	penjanje	**horizontalni let**	**spuštanje**	**ukupno**
konvencionalan proračun	3%	-48%	-13%	-16%

U penjanju izračunato je da pri konvencionalnim proračunu potroši se 3% više goriva nego pri FMGS proračunu. U horizontalnom letu pri konvencionalnom proračunu izračunato je da se potroši 48% manje goriva nego u FMGS proračunu. U spuštanju pri konvencionalnom proračunu izračunato je da se potroši 13% manje goriva nego li je izračunato uz pomoć FMGS. Proračun konvencionalnim putem prikazuje 13% manje potrošenog goriva nego proračun putem FMGS-a (tablica 5).

9. ZAKLJUČAK

Smatra se da je dobra priprema i poznavanje aviona ključ sigurnog letenja. Kao što se vidi da koliko god proučavali i računali elemente u letu, ne može se sa sigurnošću tvrditi da će biti tako kao što je proračunato. Pravi primjer je ova ruta gdje se vidi priprema leta uz vrlo napredni sustav upravljanja u avijaciji da je ipak drugačija ruta. Vrijeme na aerodromu polijetanja i aerodromu slijetanja, te na ruti bilo je bez naoblake, sa slabim vjetrovima i bez značajnijih promjena, a došlo je do promjene rute. Jako puno faktora utječu na rutu.

Usprkos brojnim pokušajima simulaciji rute putem različitih simuliranih FMGS sustava podaci o proračunu rute putem FMGS sustava su preuzeti od zrakoplovne kompanije Croatia Airlines. Uspoređujući izračunate i stvarne podatke dolazim se do zaključka da ukupno vrijeme leta ima minimalna odstupanja od 3 minute. Za razliku od ukupnog puta koji se razlikuju za 94 nautičke milje. Brzina u krstarenju prilično je slična s najvećom razlikom od 10 čvorova između proračunate i stvarne. Stvarno trajanje krstarenja mnogo je manje nego što se proračunalo, točnije 17 minuta, ali je zato stvarno spuštanje trajalo prilično duže nego proračunato, točnije 17 minuta. Zrakoplov je penjao do manje visine krstarenja, FL340, dok je planirano FL360.

Napredovanjem tehnologije stvoren je sustav za upravljanje i vođenje leta koji sve više rasterećuje pilota. Za pilote postoje i negativne stvari tog sustava, a to je neravnomjerno radno opterećenje. Većinu leta pilot ne upravlja zrakoplovom i radno opterećenje je svedeno na minimum i zatim u jednom trenutku iz minimalnog radnog opterećenja odmah dođe veliko radno opterećenje. Primjer bi bio slijetanje na stazu. Sve stvari brzo se dešavaju i nema mjesta za grešku, a pogotovo ne u blizini tla. Stoga je bitno izvući maksimalno iz svih dostupnih sustava, ali ne prepustiti da oni vode, već koristiti sustave kao pomoć ili asistenciju.

POPIS LITERATURE

[1] Zrakoplovna kompanija Airbus, preuzeto sa: http://www.airbus.com, kolovoz 2018.

[2] Aircraft compare portal, preuzeto sa: https://www.aircraftcompare.com/news_images/126.jpg, kolovoz 2018.

[3] Croatia Airlines zrakoplovna kompanije, preuzeto sa: https://www.croatiaairlines.com/hr, kolovoz 2018.

[4] A320 Family – Operation Manual – Part B, Chapters 0, 4 – 7 Performance, studeni 2005.

[5] Modern airlines portal, preuzeto sa: http://www.modernairliners.com/wp-content/uploads/2015/07/Airbus_A320_demensions.jpg, kolovoz 2018.

[6] Filip Kašuba: Izrada vježbi za simulator sustava upravljanja letom, Zagreb 2016

[7] Airbusone portal, preuzeto sa: http://1.bp.blogspot.com/-dIMbwMZHLg4/UZU76rIV_LI/AAAAAAAAAkA/bOLekr9RKLM/s1600/flight+crew+interface+with+fmgc+318+e+320.png, kolovoz 2018.

[8] Doris Novak: Zrakoplovna prostorna navigacija, Zagreb 2014.

[9] Aplikacija JeppFD, kolovozo 2018.

[10] Aviation meteo, preuzeto sa: http://aviationwxchartsarchive.com/product/metar, kolovoz 2018.

[11] Flight radar24 portal, preuzeto sa: http://www.flightradar24.com, kolovoz 2018.

POPIS SLIKA

Slika 1: Modeli zrakoplova tvrtke Airbus [1]

Slika 2: Dimenzije zrakoplova Airbus A320 [2]

Slika 3. glavne komponente FGMS sustava [7]

Slika 4. Ruta LDZA – EDDE [9]

Slika 5. Standardna instrumentalna ruta OBUTI 2H odlaska s aerodroma LDZA [9]

Slika 6. Standardna terminalna ruta ASPAT 3W dolaska na aerodrom EDDF [9]

Slika 7. Instrumentalni prilaz ILS Z uzletno-sletne staze 25L [9]

Slika 8. Proračun brzina V1, Vr i V2 i maksimalne mase [4]

Slika 9. postavka snage u polijetanju [4]

Slika 10. određivanje performansi u penjanju [4]

Slika 11. određivanje performansi u krstarenju [4]

Slika 12. određivanje performansi u spuštanju [4]

Slika 13. duljina za zaustavljanje u slijetanju [7]

Slika 14. FGMS proračun [3]

Slika 15. Stvarna brzina i visina [10]

Slika 16. Stvarna putanja zrakoplova [11]

Slika 17. Usporedba instrumentalnih ruta odlaska s aerodroma LDZA [6]

Slika 18. Usporedba visine i brzine u horizontalnom letu [10]

Slika 19. Usporedba prilaza na aerodrom EDDF [6]

POPIS TABLICA

Tablica 1. Usporedba vremena, udaljenosti i brzine u različitim režimima leta

Tablica 2. Usporedba ukupnog vremena i udaljenosti

Tablica 3. Odnos proračunatih brzina, udaljenosti i visina u odnosu na stvarne u različitim režimima leta

Tablica 4. Odnos proračunatog ukupnog vremena i udaljenosti u odnosu na stvarne

Tablica 5. Odnos proračunatih potrošnja goriva konvencionalnim putem u odnosu na proračun putem FMGS-a

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 **Izračun navigacijskih elemenata i performansi leta korištenjem sustava FMGS na zrakoplovu Airbus A320** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 11.9.2018

Fran Orsulić
(potpis)