Upravljanje potrošnjom goriva zrakoplova

Duvnjak, Marin

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:119:065232

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-16**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Marin Duvnjak

UPRAVLJANJE POTROŠNJOM GORIVA ZRAKOPLOVA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 7. svibnja 2020.

Zavod: **Zavod za zračni promet**
Predmet: **Eksploatacija i održavanje zrakoplova**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 5997

Pristupnik: **Marin Duvnjak (0113136034)**
Studij: Promet
Smjer: Zračni promet

Zadatak: **Upravljanje potrošnjom goriva zrakoplova**

Opis zadatka:

U radu je potrebno dati pregled troškova eksploatacije zrakopova te analizirati utjecaj troškova goriva na ukupne troškove eksploatacije.
Nakon toga potrebno je izabrati tipični profil leta izabrane zrakoplovne tvrtke. Po segmentima leta analizirati potrošnju goriva izabranog tipa zrakoplova tijekom izabranog profila leta. Analizirati postupke upravljanja potrošnjom goriva u zrakoplovnoj kompaniji.
Razraditi moguće postupke smanjenja potrošnjom goriva i procjeniti efekte.

Mentor:

prof. dr. sc. Ernest Bazijanac

Predsjednik povjerenstva za diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

UPRAVLJANJE POTROŠNJOM GORIVA ZRAKOPLOVA
AIRCRAFT FUEL MANAGEMENT

Mentor: prof. dr. sc. Ernest Bazijanac

Student: Marin Duvnjak
JMBAG: 0113136034

Zagreb, veljača 2021.

SAŽETAK

Troškovi goriva predstavljaju najznačajnije operativne troškove za zračne prijevoznike. Na početku je navedena struktura troškova zračnih prijevoznika i udio troškova goriva u ukupnim operativnim troškovima. Definirane su faze leta zrakoplova i opisan zrakoplov Airbus A320. Posebno se analizira geometrija zrakoplova, aerodinamička svojstva, pogonska skupina, mase zrakoplova i slično. Za razmatrani zrakoplov Airbus A320 iz flote zračnog prijevoznika Croatia Airlinesa analizirana je potrošnja goriva na odabranoj ruti. Analiza je provedena na primjeru Operativnog plana leta u kojemu je opisana predviđena potrošnja goriva zrakoplova tijekom odabranog leta. Definirane su operativne procedure po pojedinim fazama leta za smanjenje potrošnje goriva odabranog zračnog prijevoznika a koje se temelje na prioritetima proizvođača zrakoplova. Na kraju su navedeni postupci koje primjenjuje odabrani zračni prijevoznik s ciljem smanjenja potrošnje goriva.

KLJUČNE RIJEČI: operativni troškovi; faze leta; Airbus A320; potrošnja goriva

SUMMARY

Fuel costs represent the most significant operational costs for airlines. The cost structure of airlines and the share of fuel costs in total operational costs are stated at the beggining. The flight phases of the aircraft are defined and the Airbus A320 aircraft is described. The geometry of the aircraft, aerodynamic properties, propulsion group, aircraft masses and other systems are analysed. For the considered Airbus A320 aircraft from the fleet of the airline Croatia Airlines, fuel consumption on the selected route was analysed. The analysis was performed on the example of the Operational flight plan, which describes the projected fuel consumption of the aircraft during the selected flight. Operating procedures have been defined for individual phases of flight to reduce the fuel consumption of the selected airline, based on the priorities of the aircraft manufacturer. Finally, the procedures applied by the selected airline in order to reduce fuel consumption are listed.

KEYWORDS: operational costs; flight phases; Airbus A320; fuel consumption

SADRŽAJ

1. Uvod 1
2. Troškovi eksploatacije zrakoplova 3
2.1. Direktni operativni troškovi 3
2.1.1. Troškovi letačkog i kabinskog osoblja 4
2.1.2. Troškovi goriva 5
2.1.3. Troškovi održavanja zrakoplova 7
2.1.4. Troškovi amortizacije 7
2.1.5. Troškovi kamata 8
2.1.6. Troškovi najma zrakoplova 8
2.1.7. Troškovi osiguranja zrakoplova 8
2.1.8. Aerodromske usluge 8
2.2. Indirektni operativni troškovi 9
2.3. Udio troškova goriva u ukupnim troškovima eksploatacije 9
3. Tipični profil leta 12
3.1. Polijetanje 12
3.2. Penjanje 13
3.3. Krstarenje (horizontalni let) 14
3.4. Spuštanje (poniranje) 16
3.5. Slijetanje 17
4. Potrošnja goriva zrakoplova tijekom tipičnoga profila leta 18
4.1. Odabrani let za analizu potrošnje goriva 18
4.2. Općenito o atmosferi 19
4.3. Razmatrani zrakoplov 22
4.3.1. Zrakoplov A320 22
4.3.2. Geometrija zrakoplova 24
4.3.3. Pogonski sustav 26
4.3.4. Konstrukcijske težine zrakoplova 27
4.3.5. Ostali parametri za analizu potrošnje goriva razmatranog zrakoplova 29
4.4. Potrošnja goriva zrakoplova tijekom odabranog profila leta 31
5. Analiza potrošnje i upravljanja potrošnjom goriva na primjeru flote razmatrane zrakoplovne kompanije 40
5.1. Primjena postupka optimizacije potrošnje goriva – *cost index* 40

5.1.1. Određivanje indeksa troškova 42
5.1.2. Ukupni putni troškovi kao funkcija indeksa troškova 43
5.2. Operativni postupci za smanjenje potrošnje goriva u polijetanju 46
5.3. Letne procedure u fazi penjanja 46
5.4. Letne procedure u fazi krstarenja 51
5.5. Letne procedure u fazi spuštanja 55
5.5. Letne procedure u fazi slijetanja 58
5.6. Postupci pri taksiranju zrakoplova za smanjenje potrošnje goriva 59
5.7. Postupci razmatrane zrakoplovne kompanije za smanjenje potrošnje goriva 60
6. Zaključak 62
Literatura 63
Popis kratica 65
Popis slika 67
Popis tablica 68
Popis grafikona 69

1. Uvod

Iako se industrija zračnog prometa trenutno nalazi u specifičnoj situaciji s obzirom na pandemiju koja je prisutna u svijetu, i jer je smanjena potražnja za naftom na globalnoj razini, općenito govoreći u posljednjih nekoliko desetljeća cijene goriva na tržištu imaju značajne oscilacije i u pojedinim trenucima dostižu visoke iznose, zbog čega zrakoplovne kompanije žele što više reducirati takve troškove. Kvalitetno upravljanjem potrošnjom goriva kod zrakoplovnih prijevoznika često je jedan od najefikasnijih načina za smanjenje ukupnih troškova operacija zrakoplova. Zbog ekonomskih i sigurnosnih razloga proračun potrošnje goriva u procesu planiranja leta trebao bi biti što je moguće precizniji. Cilj ovog rada je prikazati značaj troškova goriva na ukupne troškove zrakoplovnih prijevoznika, analizirati potrošnju goriva odabranog tipa zrakoplova na određenoj ruti i navesti postupke upravljanja potrošnjom goriva. Rad je podijeljen u šest cjelina:

1. Uvod
2. Troškovi eksploatacije zrakoplova
3. Tipični profil leta
4. Potrošnja goriva zrakoplova tijekom tipičnoga profila leta
5. Analiza potrošnje i upravljanja potrošnjom goriva na primjeru flote razmatrane zrakoplovne kompanije
6. Zaključak.

U drugom poglavlju dan je cjelokupan pregled troškova zrakoplovnih prijevoznika čija je osnovna podjela na direktne i indirektne operativne troškove.

Postoji nekoliko različitih profila leta u zrakoplovstvu. Za komercijalni prijevoz putnika uobičajeno je rutno letenje. Let zrakoplova sastoji se od nekoliko faza opisanih u poglavlju tri.

Način na koji je analizirana potrošnja goriva nalazi se u poglavlju četiri. U ovom poglavlju ukratko je opisan zrakoplov Airbus A320, navedene su njegove tehničke specifikacije i značajke te su definirane maksimalne mase ovog tipa zrakoplova prilikom izvođenja različitih vrsta operacija. Na primjeru Operativnog plana leta na konkretnoj ruti

Zagreb – Frankfurt analizirana je potrošnja goriva zrakoplova A320 koji se nalazi u floti zračnog prijevoznika Croatia Airlinesa.

S ciljem optimizacije troškova letenja i što ekonomičnijeg korištenja raspoloživih resursa, zračni prijevoznici veliku pažnju posvećuju indeksu troškova koji je opisan u poglavlju pet. Analizirani su postupci upravljanja potrošnjom goriva kod zrakoplovnih prijevoznika. Takvi postupci se uglavnom baziraju na dokumentima proizvođača zrakoplova u kojima su opisane operativne procedure za smanjenje potrošnje goriva po različitim fazama leta.

2. Troškovi eksploatacije zrakoplova

Eksploatacija sredstava za rad u širem smislu predstavlja cjelokupan čovjekov rad sa sredstvom za rad. Eksploatacija sadrži: korištenje, održavanje (popravke), čuvanje, transportiranje, kao i sve ostale ljudske djelatnosti sa sredstvom za rad i to od momenta njegove proizvodnje pa do njegovog otpisa. Pojam eksploatacije se često koristi u užem smislu i tada znači umijeće rukovanja sa sredstvom zasnovano na njegovom korištenju i/ili osiguranju njegovog tehničkog stanja (engl. *Operations*). Radni proces čovjeka sa sredstvom za rad nije sveden samo na njegovo korištenje. Korištenje sredstva za rad uvjetovano je njegovim ispravnim stanjem, pa su zbog toga neophodni i procesi održavanja tehničkog stanja, konzervacije (čuvanja) i popravaka. U zračnom prometu koriste se različita tehnička sredstva za rad: avion, helikopter, oprema za prihvat i otpremu, navigacijska oprema na zemlji itd. [1].

Kategorizacija i troškovna klasifikacija iskazana je u različitim pojavnim oblicima i ne postoji jedinstvena svjetska metodologija. Prema Međunarodnoj organizaciji civilnog zrakoplovstva ICAO (*International Civil Aviation Organization*), troškovna struktura definirana je s 8 osnovnih kategorija i 14 potkategorija. Svjetsko udruženje zračnih prijevoznika IATA (*International Air Transport Association*), ima bolje razrađenu metodologiju koja polazi od 8 kategorija direktnih operativnih troškova te 5 kategorija indirektnih operativnih troškova [2].

Dakle, s aspekta zračnog prijevoznika najosnovnija podjela operativnih troškova bila bi na:

- direktne operativne troškove (*Direct Operating Cost* – DOC),
- indirektne operativne troškove (*Indirect Operating Cost* – IOC).

2.1. Direktni operativni troškovi

Direktni operativni troškovi DOC sastoje se od svih operativnih troškova zračnog prijevoznika koji se odnose na određeni tip zrakoplova koji se koristi u prometu i koji će

se promijeniti ako dođe do promjene tipa zrakoplova ili operacija letenja. Direktni operativni troškovi DOC dijele se na fiksne i varijabilne.

Fiksni troškovi predstavljaju stalne troškove, koji se ne mijenjaju s promjenom obujma proizvodnje, postoje čak i onda kada se uopće ne proizvodi. Ta vrsta troškova uključuje [3]:

- troškove letačkog i kabinskog osoblja,
- troškove goriva,
- troškove održavanja zrakoplova,
- troškove amortizacije,
- troškove kamata,
- troškove najma zrakoplova,
- troškove osiguranja.

Dok su varijabilni troškovi promjenjivi, mijenjaju se pri svakoj promjeni obujma proizvodnje, a uključuju:

- aerodromske usluge,
- kontrola letenja,
- podvorba putnika,
- rezervacijski sustav,
- provizija.

2.1.1. Troškovi letačkog i kabinskog osoblja

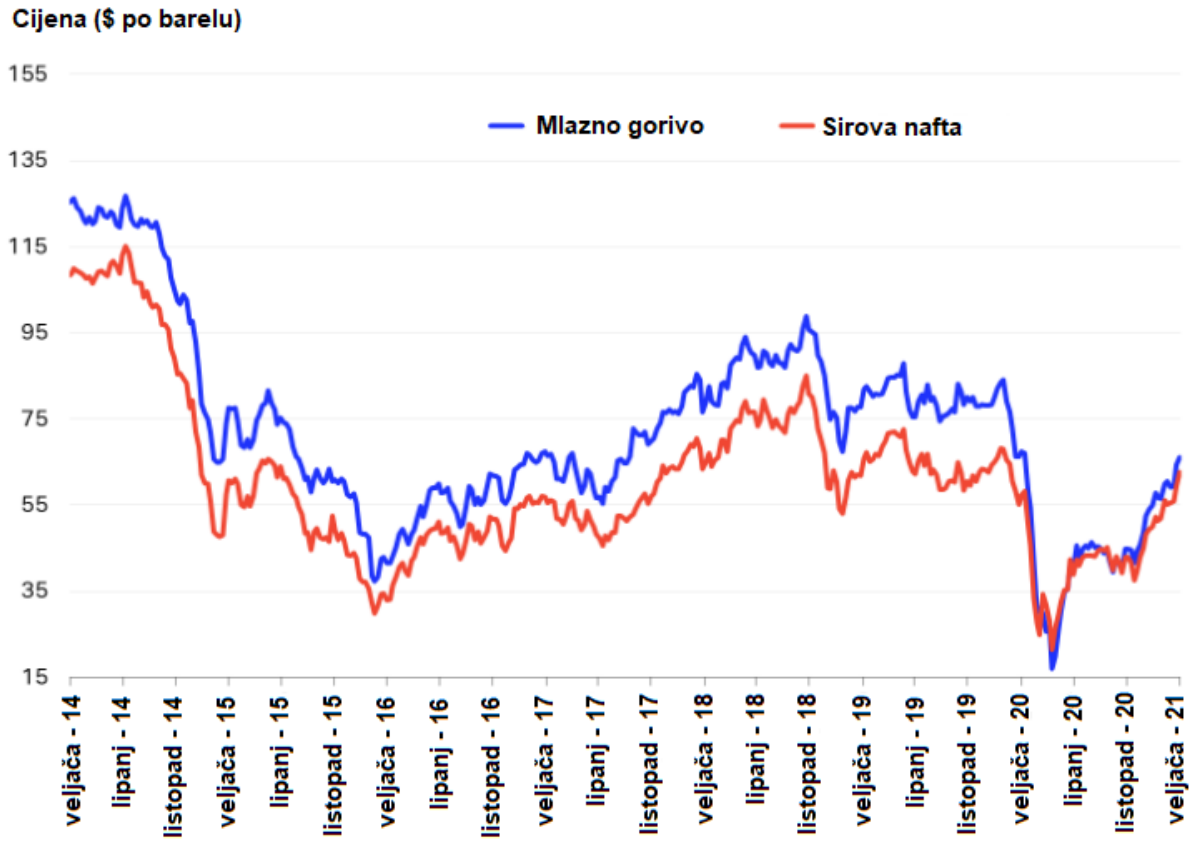
Troškovi letačkog i kabinskog osoblja predstavljaju najveći pojedinačni element ukupnih operativnih troškova, a ovise o kapacitetu zrakoplova, duljini linije, dnevnom iskorištenju zrakoplova i cijeni rada za letačko osoblje koja se razlikuje ovisno o zrakoplovnim kompanijama. Na troškove letačkog osoblja utječu i razni zakonski i kompanijski propisi koji reguliraju broj članova posade, vrijeme rada i sl. Poznavajući navedene ulazne podatke troškovi letačkog osoblja se mogu predvidjeti s vrlo visokom točnošću. Troškovi letačkog osoblja sastoje se od [3]:

- plaća letačkog osoblja i posebnih dodataka letačkom osoblju u vidu različitih beneficija,
- troškova službenih putovanja uzrokovanih redom letenja,
- izdaci za uniforme letačkog osoblja,
- osiguranja letačkog osoblja,
- školovanja letačkog osoblja.

2.1.2. Troškovi goriva

Najznačajniji trošak za zračne prijevoznike predstavljaju troškovi goriva. Ušteda goriva od presudne je važnosti jer omogućava reduciranje troškova i značajno doprinosi zaštiti okoliša. Iskoristivost goriva povećala se zbog poboljšanja u konstrukciji zrakoplova, unapređenja tehnoloških rješenja zrakoplovnih motora, ostvarivanja većeg faktora popunjenosti i poboljšanja operativnih procedura.

Potrošnja goriva razlikuje se u zavisnosti od tipa zrakoplova (mlazni, turboprop), profila leta, starosti zrakoplova itd. S druge strane, troškovi goriva uz navedene čimbenike afektirani su i veličinom zračnog prijevoznika u smislu količina goriva kojima se opskrbljuje (količinski popusti), odabira najpovoljnijeg opskrbljivača goriva itd. Efikasnost i racionalizacija potrošnje goriva te smanjenje jediničnih i ukupnih troškova goriva svakodnevni je izazov na koji zračni prijevoznici moraju što uspješnije reagirati [2]. Grafikon 1. prikazuje trend kretanja cijena mlaznog goriva i sirove nafte na svjetskoj razini u razdoblju od veljače 2014. godine do veljače 2021. godine.



Grafikon 1. Cijene mlaznog goriva i sirove nafte u razdoblju od 2014. do 2021. [4]

Prema IATA procjenama prosječna cijena brenta nafte u 2019. iznosila je 65 $/barelu (71,6 $/barelu u 2018. godini), dok je prosječna cijena mlaznog goriva iznosila 77 $/barelu (86,1 $/barelu u 2018. godini). Troškovi goriva na razini industrije u 2019. procijenjeni su na 188 milijardi USD (180 milijardi USD u 2018. godini), a udio troškova goriva u operativnim troškovima neznatno se povećao sa 23,5% u 2018. na 23,7% u 2019. godini [5].

2.1.3. Troškovi održavanja zrakoplova

Troškovi održavanja zrakoplova pokrivaju niz troškova, zbog njihove složenosti prate se i evidentiraju na različite načine. Prema ICAO, troškovi održavanja su nedjeljivi i treba ih svrstati u jednu zajedničku grupu.

Troškovi održavanja po tipu zrakoplova uključuju [2]:

- preglede zrakoplova,
- popravke motora i dijelova,
- najam motora i dijelova,
- rezervne i potrošne dijelove za zrakoplove,
- tehničku podršku,
- konsignaciju,
- tehničku dokumentaciju,
- certificiranje,
- *antiiceing* i *deiceing* te čišćenje zrakoplova,
- novčana i materijalna primanja osoblja održavanja,
- školovanja,
- ostale troškove održavanja.

2.1.4. Troškovi amortizacije

Troškovi amortizacije mogu se računati za zrakoplov u cijelosti ili posebno za motore zrakoplova. U oba slučaja amortizacija se računa na ukupne troškove investicije. Zračni prijevoznici u pravilu primjenjuju proporcionalnu amortizaciju u određenom vremenskom razdoblju i s određenim ostatkom vrijednosti. Razdoblje amortizacije za nove zrakoplove je obično 12 do 20 godina, dok je za polovne zrakoplove, ovisno o njihovoj starosti razdoblje amortizacije od 5 do 10 godina. Ostatak vrijednosti zrakoplova nakon isteka razdoblja amortizacije kreće se od 0 do 15%.

Troškovi amortizacije po tipu zrakoplova uključuju [2]:

- amortizaciju zrakoplova i motora,
- rezervnih dijelova,

- alata i opreme,
- amortizaciju ostale imovine.

2.1.5. Troškovi kamata

Zračni prijevoznik je preko dugoročnih kredita s varijabilnom kamatnom stopom izložen i kamatnom riziku, zbog čega se redovito prati kretanje kamatnih stopa na svjetskom tržištu i njihov utjecaj na poslovanje kompanije.

2.1.6. Troškovi najma zrakoplova

Mnogi zračni prijevoznici baziraju svoj razvoj na najmu zrakoplova (sa ili bez letačkog osoblja) i pri tome se susreću s kategorijom troškova vezanih za najam zrakoplova. Trošak najma zrakoplova se često svrstava u troškove vezane za letačku operativu. Ako zračni prijevoznici imaju puno zrakoplova u najmu onda su im i ukupni troškovi letačke operative izuzetno visoki, jer su u anuitetu sadržani i troškovi amortizacije i troškovi kamata plaćenih od strane vlasnika zrakoplova.

2.1.7. Troškovi osiguranja zrakoplova

Troškovi osiguranja po tipu zrakoplova uključuju osiguranje zrakoplova te ostale troškove osiguranja radnika i imovine.

2.1.8. Aerodromske usluge

Obuhvaćaju troškove slijetanja te troškove prihvata i otpreme zrakoplova, putnika, prtljage te robe i pošte. Izračun tih troškova temelji se na ugovorenim, odnosno ostvarenim jediničnim cijenama po tipu zrakoplova za svaku pojedinu zračnu luku koji se multipliciraju s ostvarenim odgovarajućim brojem letova na određenoj ruti. Sukladno industrijskoj praksi osoblje zemaljskih usluga dio je troškova aerodromskih usluga, a alociranje na rute vrši se kriterijem ostvarenih troškova aerodromskih usluga na svaku pojedinu rutu.

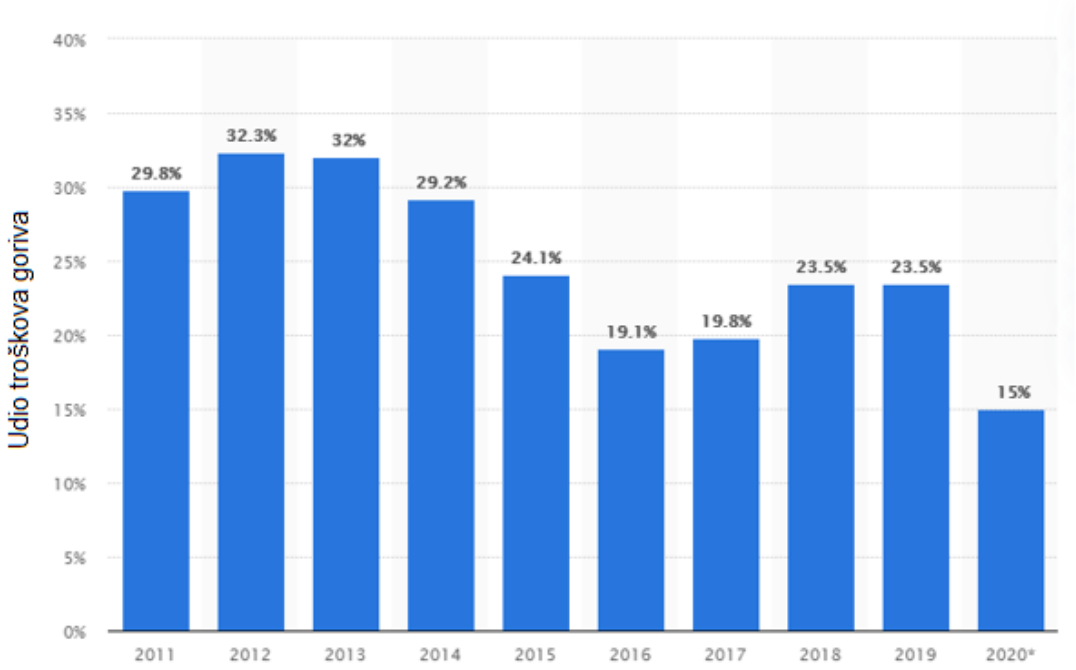
2.2. Indirektni operativni troškovi

Indirektni operativni troškovi su svi oni troškovi koji ostaju nepromijenjeni u slučaju promjene tipa zrakoplova, jer nisu direktno ovisni o samom zrakoplovu odnosno o operaciji letenja. Ovi troškovi uključuju [3]:

- opće i administrativne troškove,
- troškove u svezi s rezerviranjem i izdavanjem karata, prodajom i promocijom,
- troškove predstavništva,
- troškove na vanjskim stanicama i troškovi zemaljske operative.

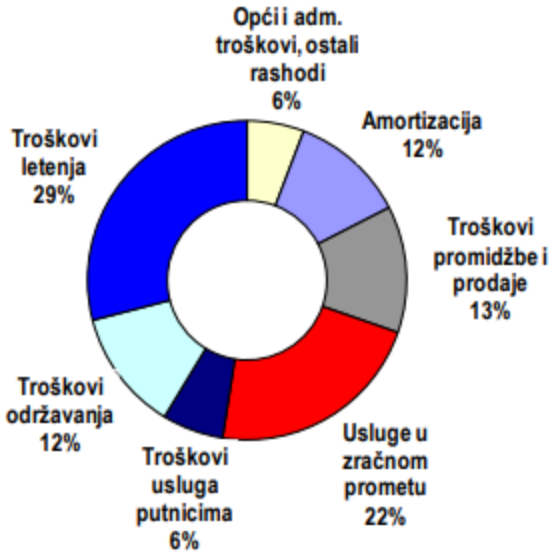
2.3. Udio troškova goriva u ukupnim troškovima eksploatacije

Poznato je da se cijene mlaznog goriva formiraju na međunarodnom tržištu i da su predmet intenzivnih sezonskih fluktuacija. U hladnim zimskim mjesecima cijene su u pravilu više zbog dodatnih rafinerijskih troškova zagrijavanja postrojenja za preradu nafte. Na dio troškova prerade i cijena na tržištu ne može se utjecati i izvan su kontrole zračnih luka i zračnih prijevoznika (npr. udaljenost rafinerije od mjesta prodaje, kvaliteta infrastrukture prerade, poremećaji u ponudi i potražnji, mogući monopolizam na nivo troškova i cijene cjevovoda itd.). Zračni prijevoznici u svijetu u obvezi su, iako nerado, objavljivati i prezentirati podatke o troškovima goriva, što je čest način iskaza, ili po toni goriva, pri čemu se mora uvažavati i pretvorbena formula litara u kilograme, što nije jedinstveni faktor u svijetu jer ovisi o (različitim) temperaturama i gustoćama. Razlog dobrim dijelom leži i u činjenici da se uspješnim pregovaračkim vještinama s opskrbljivačima mogu postići značajne uštede koje se ne mogu ignorirati [2]. Udio troškova goriva u ukupnim operativnim troškovima zračnih prijevoznika u svjetskim razmjerima, u razdoblju od 2011. do 2020. godine prikazan je na grafikonu 2.



Grafikon 2. Udio troškova goriva u ukupnim operativnim troškovima [6]

Zrakoplovna kompanija Croatia Airlines u 2019. godini navodi kako su najveći porast zabilježili troškovi promocije i prodaje, opći i administrativni troškovi, te troškovi amortizacije. Najznačajnije smanjenje operativnih troškova ostvareno je kod troškova letenja koji uključuju i troškove goriva, i to zbog nižih cijena goriva u 2019. godini u odnosu na prethodnu kao i kod troškova održavanja zrakoplova zbog smanjenih troškova održavanja dijelova i potrošnog materijala. Unatoč uštedama u 2019. godini najveći udio u operativnim troškovima odnosi se na troškove letenja (uključuju gorivo), te usluge u zračnom prometu [5]. Udio troškova letenja u operativnim troškovima u promatranom razdoblju iznosi 29%, dok udio troškova usluga u zračnom prometu iznosi 22%. Detaljnija struktura operativnih troškova zrakoplovne kompanije Croatia Airlines za 2019. godinu prikazana je na grafikonu 3.



Grafikon 3. Struktura troškova Croatia Airlinesa za 2019. [5]

3. Tipični profil leta

Let zrakoplova se može podijeliti u nekoliko faza. Uobičajeni način podjele leta zrakoplova je na sljedeće faze:

- Manevriranje na zemlji (engl. *Taxi*),
- Polijetanje (engl. *Take off*),
- Penjanje (engl. *Climb*),
- Krstarenje (engl. *Cruise*),
- Spuštanje (engl. *Descent*),
- Zadržavanje u zraku (engl. *Holding*),
- Prilaženje (engl. *Approach*),
- Slijetanje (engl. *Landing*).

Najčešći profil leta komercijalnih zračnih prijevoznika je rutno letenje. Takav profil leta karakterističan je po vrlo dugoj fazi krstarenja u odnosu na ostale faze leta i uobičajen je za mlazno zrakoplovstvo. Osnovne faze rutnog letenja opisane su u nastavku.

3.1. Polijetanje

Polijetanje se definira kao početna faza svakog leta. To je manevar kojim se zrakoplov prevodi iz mirovanja na tlu u gibanje zrakom (let). Svako polijetanje sastoji se od tri faze: zaleta, uzleta i poleta. Zalet započinje u trenutku kada se zrakoplov počne gibati pistom s ciljem polijetanje i traje sve do postizanja brzine uzleta. Uzlet je trenutak kada se zrakoplov odvoji od piste i prijeđe u fazu poleta. Polet traje od uzleta do prevođenja zrakoplova u režim penjanja. Završetak poleta je točka u kojoj zrakoplov postigne visinu od 50 ft. Dužina polijetanja d_{pol} je horizontalni put koji zrakoplov prijeđe od početka zaleta do kraja poleta.

Sile koje djeluju na zrakoplov u polijetanju na ravnoj pisti bez vjetra su sila težine (G), sila potiska (Ft), sila trenja između kotača i podloge (R), sila uzgona (Fz), sila otpora (Fx) i sila inercije (Fi). Za ostvarivanje potrebnog ubrzanja za odvajanje od piste sila potiska Ft mora biti veća od zbroja sile trenja između kotača i podloge (R), sile otpora (Fx)

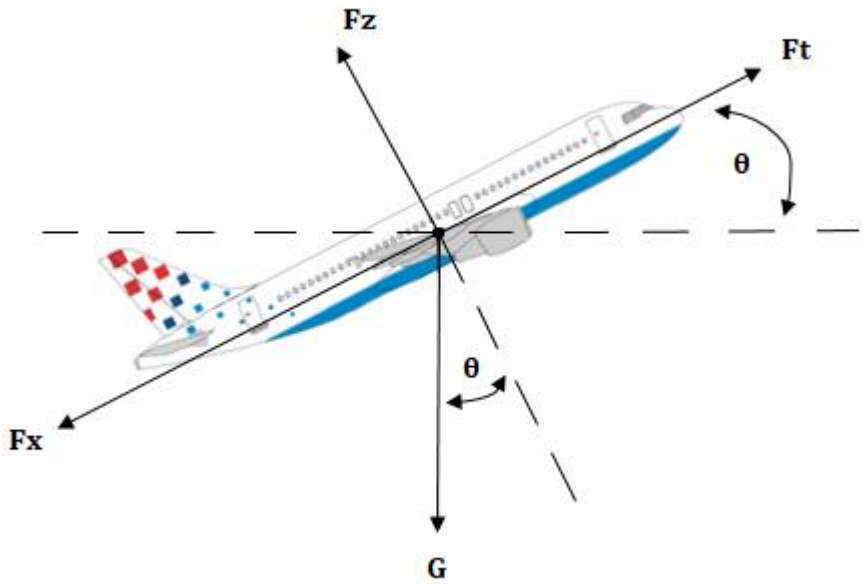
i sile inercije (Fi), odnosno ($Ft > R + Fx + Fi$), a da bi se realizirao uzlet sila uzgona (Fz) mora biti jednaka sili težine (G), tj. ($Fz = G$) [7].

Polijetanje se promatra kao ravanski problem, a zrakoplov kao kruto tijelo (ne uzimaju se u obzir elastične veze i deformacije podvozja). Ukoliko ima vjetra uzima se u obzir samo uzdužnu komponentu (duž piste). Oznaka za taj vjetar duž piste je V_W. On je pozitivan ako puše u pravcu zalijetanja zrakoplova (leđni vjetar), a negativan ako puše u susret zrakoplovu (čeoni vjetar). Drugim riječima vjetar V_W je pozitivan u pravcu i smjeru kao i brzina gibanja V_K i aerodinamička brzina V. Brzina gibanja zrakoplova u odnosu na pistu V_K je zbroj vjetra V_W i aerodinamičke brzine V.

Zrakoplovi uvijek polijeću uz vjetar, tj. uzdužna komponenta vjetra je uvijek negativna. Ako je vjetar pozitivan zrakoplov polijeće s drugog kraja piste, tako da na njega u polijetanju uvijek djeluje čeoni vjetar [8].

3.2. Penjanje

Penjanje je faza leta zrakoplova koja traje od uzlijetanja zrakoplova pa sve do postizanja određene visine leta. Najvažnije veličine koje definiraju ovaj segment leta su brzina uzdizanja, kut penjanja, vrijeme penjanja i potrošnja goriva. Slika 1. prikazuje sile koje djeluju na zrakoplov u penjanju te kut penjanja.



Slika 1. Sile koje djeluju na zrakoplov u fazi penjanja

Izvor: [7]

Brzina penjanja V_v označava se u zrakoplovnoj praksi sa R/C (*Rate of Climb*), a tangens kuta γ označava se sa G i naziva se gradijent penjanja (engl. *Climb Gradient*).

3.3. Krstarenje (horizontalni let)

Krstarenje ili horizontalni let segment je leta koji se definira kao pravocrtno kretanje zrakoplova konstantnom brzinom pri konstantnom napadnom kutu. Svaka točka zrakoplova se kreće horizontalno bez obzira što položaj osi trupa u odnosu na horizont može biti pod određenim kutom. U ustaljenom horizontalnom letu na zrakoplov djeluju sila uzgona (Fz), sila otpora (Fx), težina zrakoplova (Fg) i vučna ili potisna sila (Ft). Uvjet za ostvarivanje horizontalnog leta je da pri ustaljenom kretanju zrakoplova suma svih sila i momenata u odnosu na odgovarajuće osi mora biti nula. Vrijedi [7]:

$$\sum Fz = 0 \qquad \sum Mz = 0$$

$$\sum Fx = 0 \qquad \sum Mx = 0$$

$$\sum Fy = 0 \qquad \sum My = 0$$

Prvi uvjet horizontalnog leta je da su sila uzgona (Fz) i težina zrakoplova (Fg) u ravnoteži ($Fz = Fg$). Ukoliko je sila uzgona (Fz) veća od težine zrakoplova (Fg), zrakoplov će se penjati, dok će se u obrnutom slučaju spuštati.

Drugi uvjet horizontalnog leta je da su sila otpora (Fx) i vučna ili potisna sila (Ft) u ravnoteži ($Fx = Ft$). Ukoliko ove dvije sile nisu u ravnoteži pojaviti će se akceleracija ili deceleracija što će poremetiti odnos sila i momenata. Promjena vučne ili potisne sile (Ft) izravno utječe na promjenu brzine zrakoplova, a promjena brzine zrakoplova utječe na veličinu sile uzgona (Fz). Osnovne sile koje djeluju na zrakoplov tijekom horizontalnog leta prikazane su na slici 2.

Slika 2. Sile koje djeluju na zrakoplov u horizontalnom letu, [9]

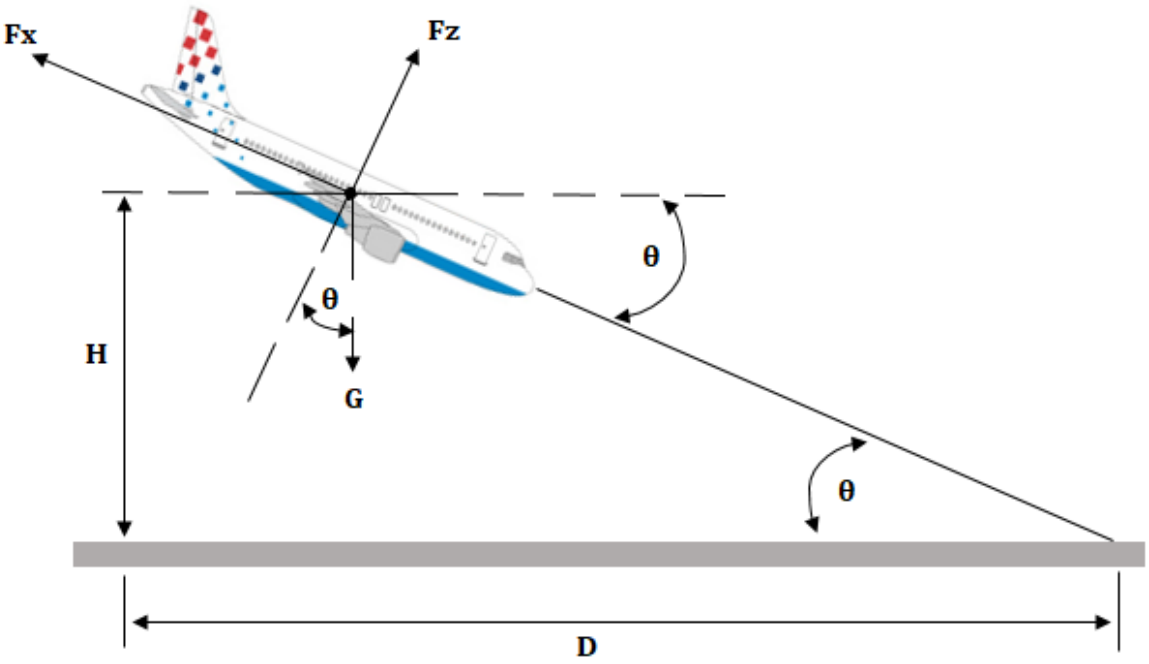
Na horizontalni let utječu visina, težina i vjetar. Jedan od već spomenutih uvjeta za horizontalni let je da sila uzgona (Fz) bude jednaka težini zrakoplova (G) na svakoj visini leta. Kako se gustoća s visinom smanjuje opada vrijednost sile uzgona (Fz). Kako bi se

održala ista vrijednost sile na većoj visini potrebno je na istom napadnom kutu i za istu težinu zrakoplova povećati brzinu.

Vjetar koji može utjecati na zrakoplov u horizontalnom letu dijeli se na: čeoni (djeluje u suprotnom smjeru leta zrakoplova), leđni (djeluje u smjeru leta zrakoplova) i bočni (djeluje pod kutom na pravac leta zrakoplova s jedne ili druge strane). Utjecaj koji će vjetar imati na zrakoplov ovisi o odnosu brzine vjetra i brzine zrakoplova te o smjeru vjetra. Leđni vjetar povećava brzinu zrakoplova u odnosu na tlo, dok pri bočnom vjetru zrakoplov odstupa od zadane putanje leta.

3.4. Spuštanje (poniranje)

Spuštanje ili poniranje se definira kao faza leta u kojoj zrakoplov smanjuje visinu leta od visine krstarenja do visine slijetanja. Zrakoplov u spuštanju prikazan je na slici 3.



Slika 3. Zrakoplov u fazi spuštanja

Izvor: [7]

Dva ključna faktora su bitna za karakteristike spuštanja, a to su: kut spuštanja i brzina spuštanja. Tijekom jednolikog spuštanja, težina zrakoplova ima komponentu sile duž putanje leta, ali suprotno sili otpora što znači da doprinosi sili potiska.

3.5. Slijetanje

Slijetanje se definira kao manevar nejednolikog kretanja kojim se zrakoplov prevodi iz leta zrakom u vožnju po tlu. Na zrakoplov u slijetanju djeluju iste sile kao i u polijetanju, samo različitih intenziteta. Slijetanje se sastoji od završnog prilaza, ravnanja tijekom kojeg se zrakoplov dovodi u položaj za slijetanje, usporavanja, pristajanja i vožnje do zaustavljanja [7].

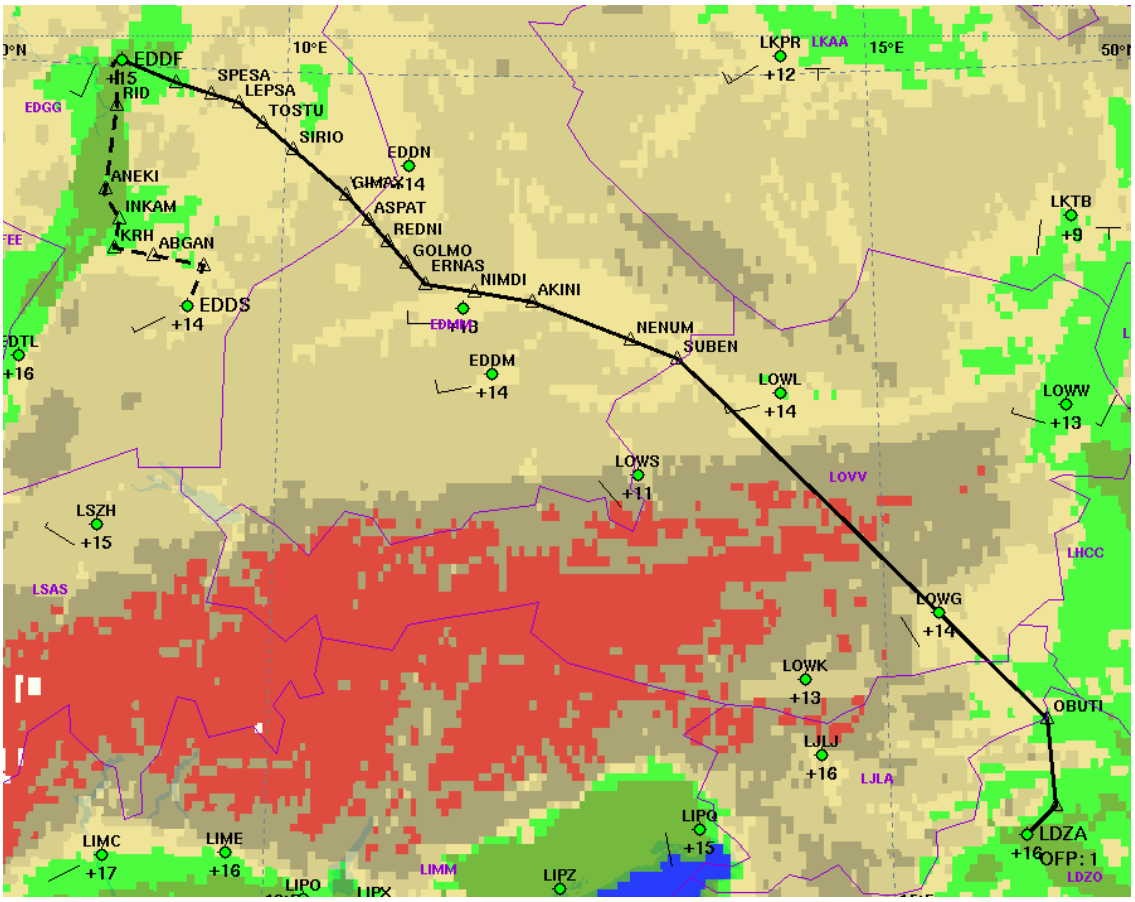
U prvom dijelu slijetanja zrakoplov nastavlja pravolinijsko spuštanje do visine h_r koja mu odgovara za vertikalni zaokret da bi na kraju zaokreta tangirao pistu. U zaokretu pilot kontrolira polumjer s promjenom opterećenja n. Prijelaz od kraja zaokreta do dodira s pistom treba se ostvariti bez velike vertikalne brzine (manja od 1 m/s). Usporavanje na pisti ostvaruje se prvo aerodinamičkim kočnicama, zatim motorom ako zrakoplov to omogućuje i na kraju mehaničkim kočnicama na kotačima [8].

Čimbenici koji utječu na duljinu i vrijeme slijetanja su brzina, težina zrakoplova i vjetar. Brzina slijetanja utječe proporcionalno, na primjeru povećanja brzine slijetanja za 10% povećava se duljina slijetanja za 21%. Težina zrakoplova utječe proporcionalno, na primjeru povećanje težine zrakoplova pri slijetanju za 21% zahtijeva povećanje brzine slijetanja za 10%. Utjecaj vjetra je izraženiji kod slijetanja, odnosno zrakoplov je osjetljiviji na njegov utjecaj. Kao i za polijetanje, slijetanje se vrši isto uz vjetar. To znači ako ima vjetra to je čeoni vjetar.

4. Potrošnja goriva zrakoplova tijekom tipičnoga profila leta

4.1. Odabrani let za analizu potrošnje goriva

Za potrebe analize potrošnje goriva odabrana je uobičajena ruta na kojoj prometuje zračni prijevoznik Croatia Airlines. Radi se o ruti Zagreb – Frankfurt koja je prikazana na slici 4. Crna linija na slici prikazuje stvarnu putanju leta od zračne luke polazišta do zračne luke odredišta.



Slika 4. Prikaz odabrane rute Zagreb – Frankfurt za analizu potrošnje goriva, [10]

Za protrebe analize potrošnje goriva te općenito letnih performansi zrakoplova potrebno je poznavati masu zrakoplova koja predstavlja vrlo važan čimbenik prilikom

planiranja leta. Što je masa zrakoplova veća, potreban je i veći uzgon kako bi se zrakoplov održao u horizontalnom letu. Za postizanje većeg uzgona, potrebna je veća brzina zrakoplova, a veća brzina direktno utječe na povećanje potrošnje goriva zrakoplova. Također na potrošnju goriva utječu brojni drugi faktori kao što su: meteorološki uvjeti, brzina leta, visina leta, način održavanja pogonske skupine, vjetar, temperatura i tlak zraka, starost pogonske skupine, stupanj povećanja otpora zbog promjene aerodinamičke strukture zrakoplova itd. Analiza potrošnje goriva provedena je u standardnim atmosferskim uvjetima zbog čega je potrebno poznavati Međunarodnu standardnu atmosferu (engl. *International Standard Atmosphere* – ISA).

4.2. Općenito o atmosferi

Atmosfera je plinoviti omotač koji obavija Zemlju. Oblik atmosfere je sličan obliku Zemlje i s njom se neprekidno okreće. Meteorologija proučava sastav i strukturu atmosfere, njezino fizičko stanje, postanak, značenje i razvoj fizičkih meteoroloških pojava koje se javljaju u atmosferi i na Zemljinoj površini. Stanje atmosfere je skup njezinih fizičkih osobina koje određuju meteorološki elementi. U osnovne meteorološke elemente ubrajamo temperaturu zraka, atmosferski tlak, vjetar, gustoću i vlažnost zraka, isparavanje, oblake i oborine, optičke i električne pojave u atmosferi, vidljivost i dr. Najzastupljeniji plinovi koji tvore atmosferu su dušik sa 78%, kisik s 21%, dok preostalih 1% čine svi ostali plinovi. Ako promatramo promjenu temperature prema visini, u vertikalnom smjeru atmosfera se dijeli na nekoliko slojeva; troposfera (najniži sloj, do 11 km), stratosfera (sloj od 11 do 40 km), mezosfera (od 40 do 80 km), termosfera (od 80 do 800 km), i najviši sloj iznad 800 km, egzosfera (njezina granica nije točno određena). Temperatura u troposferi pada s visinom, u stratosferi se ne mijenja, a u mezosferi se povećava s visinom. Za zrakoplovstvo je značajna troposfera [11].

Međunarodna standardna atmosfera ISA, međunarodno je prihvaćen model stanja atmosfere (od 1920. godine) i vertikalne raspodjele temperature i tlaka, do visine od 90 km, koja se uzima kao svjetski prosjek vrijednosti tih veličina. Model polazi od pretpostavke da u atmosferi vrijede zakoni za idealne plinove i da je odstupanje svojstava

realnih atmosferskih plinova od svojstava idealnoga plina maleno. Do danas se nekoliko puta prilagođavala točnijim mjerenjima, pogotovo na većim visinama.

Za stanje pri tlu definira se temperatura od 15 °C (288,15 K), tlak od 1013,25 hPa i gustoća zraka od 1,225 kg/m³. Temperatura zraka od tla do tropopauze opada za 6,5 °C/km, sve do visine od 11 km, gdje iznosi -56,5 °C, a ostaje nepromijenjena u sloju od daljnjih 9 km. Iznad toga temperatura zraka raste do visine od 47 km, gdje dosegne -2,5 °C i ostaje nepromijenjena sve do visine od 51 km, iznad koje ponovno opada sve do 84,852 km, gdje postiže vrijednost od -86,28 °C. Promjena tlaka, temperature i gustoće s obzirom na visinu leta prema Međunarodnoj standardnoj atmosferi prikazana je u tablici 1.

Tablica 1. Vrijednosti Međunarodne standardne atmosfere, [12]

H [m]	T [K]	p [Pa]	ρ [kg/m^3]	a [m/s]
0	288,15	101325	1,225	340,3
500	284,9	95460,1	1,1673	338,4
1000	281,65	89873,2	1,1116	336,4
1500	278,4	84554,1	1,0580	334,5
2000	275,15	79492,7	1,0065	332,5
2500	271,9	74679,6	0,9568	330,6
3000	268,65	70105,2	0,9091	328,6
3500	265,4	65760,4	0,8632	326,6
4000	262,15	61636,2	0,8191	324,6
4500	258,9	57724,1	0,7767	322,6
5000	255,65	54015,4	0,7361	320,5
5500	252,4	50502,1	0,6971	318,5
6000	249,15	47176,2	0,6596	316,4
6500	245,9	44029,9	0,6238	314,4
7000	242,65	41055,7	0,5894	312,3
7500	239,4	38246,4	0,5566	310,2
8000	236,15	35594,7	0,5251	308,1
8500	232,9	33094	0,4950	305,9
9000	229,65	30737,4	0,4663	303,8
9500	226,4	28518,6	0,4388	301,6
10000	223,15	26431,3	0,4126	299,5
10500	219,9	24469,5	0,3877	297,3
11000	216,65	22627,3	0,3639	295,1
11500	216,65	20916	0,3363	295,1
12000	216,65	19330,1	0,3108	295,1
13000	216,65	16509,9	0,2655	295,1
14000	216,65	14101,2	0,2267	295,1
15000	216,65	12044,0	0,1937	295,1
16000	216,65	10286,8	0,1654	295,1
17000	216,65	8786,0	0,1413	295,1
18000	216,65	7504	0,1207	295,1
19000	216,65	6409,4	0,1031	295,1
20000	216,65	5474,3	0,0880	295,1

4.3. Razmatrani zrakoplov

Analiza potrošnje goriva u standardnim atmosferskim uvjetima provedena je na zrakoplovu Airbus A320, a jedan od operatora istoga je i hrvatski nacionalni prijevoznik Croatia Airlines, koja u svojoj floti ima dva zrakoplova tog tipa.

4.3.1. Zrakoplov A320

Airbus A320 obitelj je modernih uskotrupnih dvomotornih zrakoplova srednjeg doleta, koju čine tipovi zrakoplova A318, A319, A320 i A321. Proizvođač zrakoplova, Airbus, osnovan je 18. prosinca 1970. godine. Kompanija ima sjedišta u Toulouseu i Hamburgu i jedna je od vodećih proizvođača zrakoplovne i svemirske opreme u svijetu.

Zrakoplovi unutar obitelji A320 razlikuju se po dimenziji i konfiguraciji sjedala, dok su tehnološki gotovo identični. Zrakoplovi su certificirani za visinu krstarenja od 11 920 m do 12 500 m, gdje mogu postići maksimalnu brzinu krstarenja oko 890 km/h i imati dolet od oko 6100 km pri maksimalnim težinama zrakoplova [13]. Tehničke specifikacije i značajke zrakoplova A320 prikazane su u tablici 2.

Tablica 2. Tehničke specifikacije i značajke zrakoplova A320

Airbus A320	
Dužina zrakoplova (m)	37,6
Raspon krila (m)	34,1
Visina (m)	11,8
Površina krila (m²)	122,4
Maksimalni plaćeni teret (t)	16,6
Kapacitet spremnika za gorivo (l)	24210 – 27200
Dolet s plaćenim teretom (km)	6100
Ekonomična brzina krstarenja (km/h)	840
Max. brzina (km/h)	890

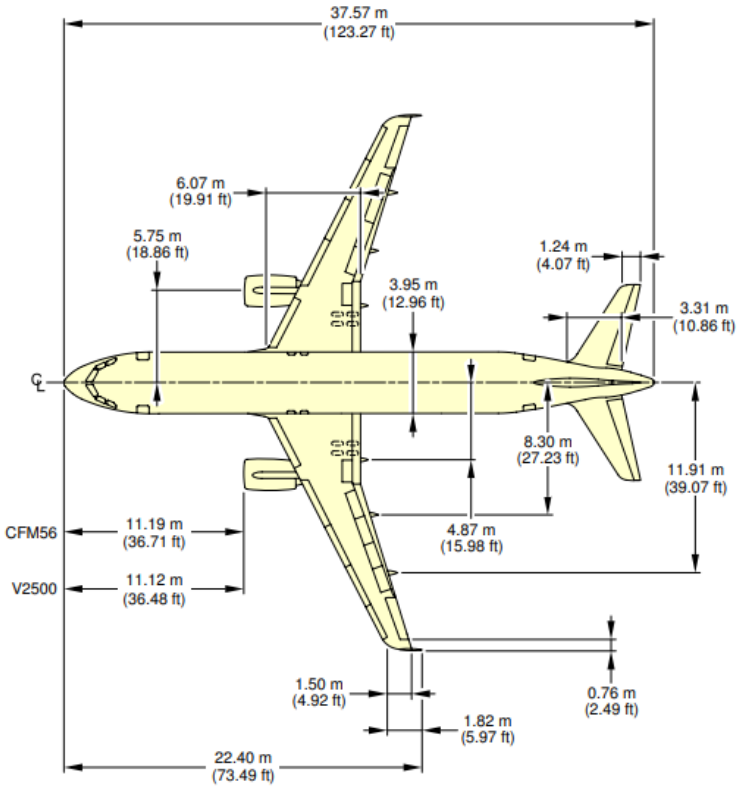
Izvor: [14]

A320 prvi je zrakoplov obitelji A320, ali i prvi linijski putnički zrakoplov u koji je ugrađen *fly-by-wire* sustav upravljanja, koji umjesto do tada korištenog manualnog sustava upravljačkih kontrola koristi električne impulse za upravljanje komandama. Upravljanje se vrši pomicanjem upravljačke kontrole (engl. *Joysticka*), koja stvara električne impulse koji se žičano prenose do upravljačkog računala koje zatim određuje koja će se upravljačka površina otkloniti. Zrakoplov Airbus A320 Croatia Airlinesa na kojem je provedena analiza potrošnje goriva nalazi se na slici 5.

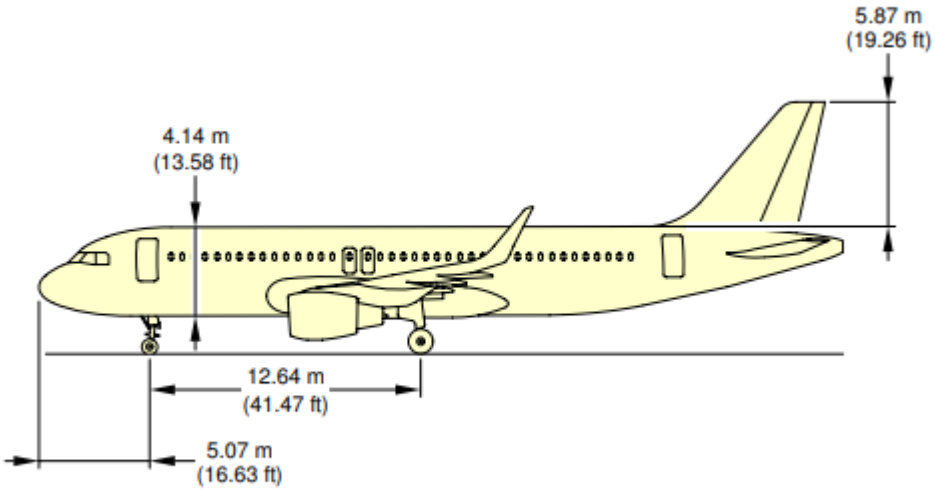
Slika 5. Zrakoplov Airbus A320 Croatia Airlinesa, [15]

4.3.2. Geometrija zrakoplova

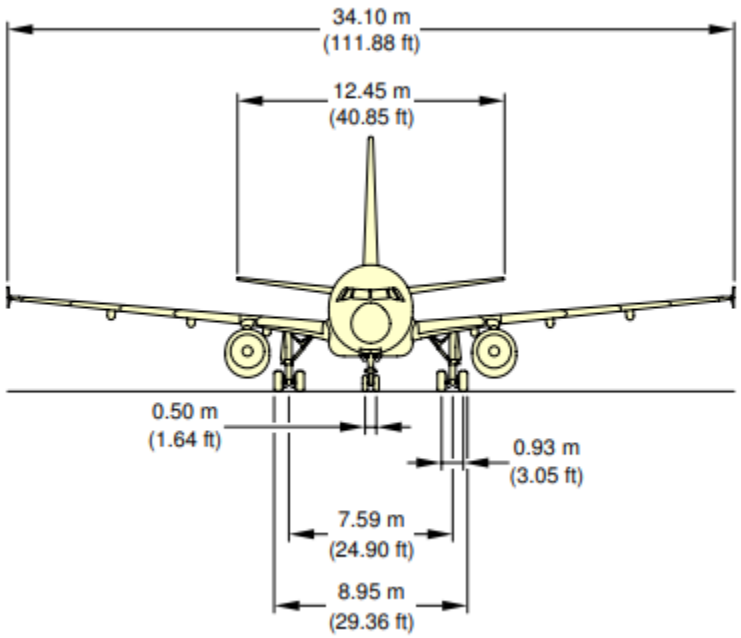
Iz tlocrtne (slika 6), bokocrtne (slika 7) i nacrtne projekcije (slika 8) razmatranog zrakoplova vidljive su njegove osnovne dimenzije.



Slika 6. Osnovne dimenzije zrakoplova (tlocrt), [16]



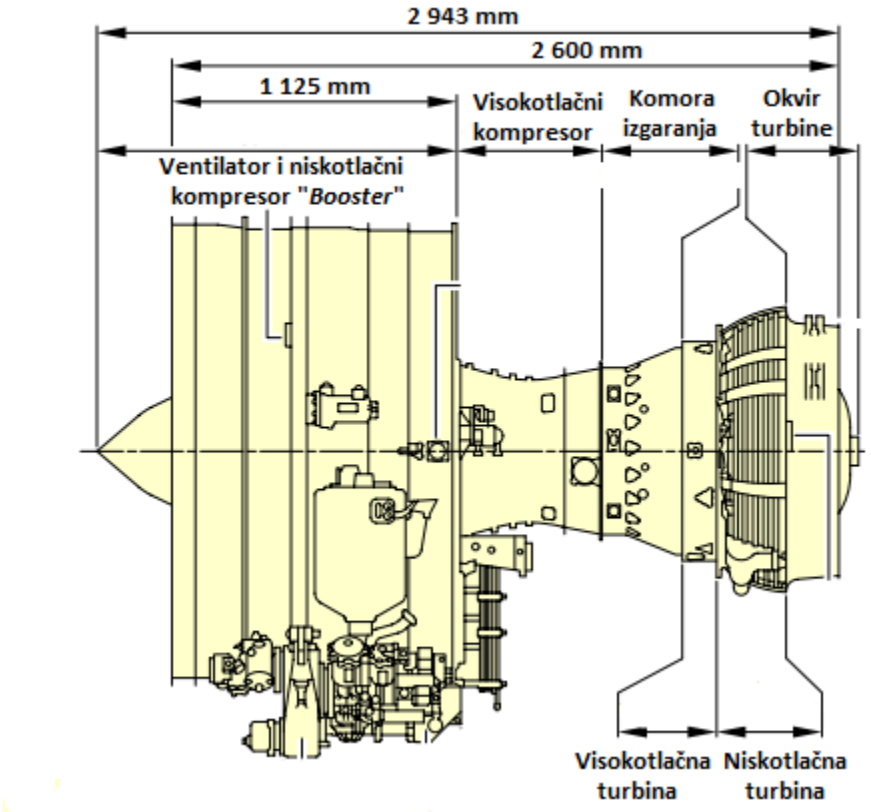
Slika 7. Osnovne dimenzije zrakoplova (bokocrt), [16]



Slika 8. Osnovne dimenzije zrakoplova (nacrt), [16]

4.3.3. Pogonski sustav

Razmatrani zrakoplov Airbus A320 pogonjen je dvama motorima tipa CFM56-5B4 koji pripadaju skupini dvovratilnih turboventilatorskih motora s visokim stupnjem optočnosti. Osnovni dijelovi i pripadajuće dimenzije motora prikazani su na slici 9. Kod turboventilatorskih motora zračna struja ulazi u usisnik te se prilikom prolaska kroz kompresor dijeli na dva dijela. Jedan dio normalnim putem odlazi u komoru za izgaranje i preko turbine i mlaznika izlazi u atmosferu. To je primarna struja. Drugi dio zraka, potisnut prednjim dijelom kompresora s uvećanim lopaticama, ventilatorom, povećanom brzinom izlazi u atmosferu. To je sekundarna struja. Tako silu potiska stvaraju dvije zračne struje. Ventilatorski motor ekonomičniji je od običnoga turbomlaznog motora, a smanjuje i buku, jer je zrak oko motora dobar zvučni izolator.



Slika 9. Presjek i osnovni dijelovi motora CFM56

Izvor: [16]

CFM56-5B4 opremljen je FADEC (engl. *Full Authority Digital Engine Control*) sustavom za kontrolu rada motora. Taj motor ima jedan ventilatorski stupanj iza usisnika, trostupanjski niskotlačni i devetostupanjski visokotlačni kompresor, prstenastu komoru za izgaranje, jednostupanjsku visokotlačnu i četverostupanjsku niskotlačnu turbinu. Maksimalni potisak polijetanja motora iznosi 111200 N, a maksimalni kontinuirani potisak 105400 N.

S više od 32500 isporučenih primjeraka, CFM56 najprodavanija je mlazni motor u povijesti komercijalnog zrakoplovstva. Pokreće zrakoplove vodećih svjetskih proizvođača Airbusa i Boeinga, a koristi ga više od 590 zrakoplovnih operatera diljem svijeta.

4.3.4. Konstrukcijske težine zrakoplova

Konstrukcijske težine zrakoplova određene su pri projektiranju zrakoplova te uvjetovane strukturalnom čvrstoćom u pojedinim fazama korištenja zrakoplova. Konstrukcijske težine, bez obzira na ugradnju novih dijelova, ne mogu se mijenjati prema višim vrijednostima bez odobrenja konstruktora i nadležnih zrakoplovnih vlasti. U konstrukcijske težine ubrajaju se [17]:

- **maksimalna težina zrakoplova na stajanci (engl. *Maximum Ramp Weight* – MRW)** najveća je moguća težina potpuno opterećenog zrakoplova. Ta težina se ne smije prekoračiti zbog strukturalnih ograničenja čvrstoće zrakoplova. Kod tog se opterećenja zrakoplov ne smije kretati, kako snagom vlastitih motora tako ni zemaljskim sredstvima,
- **maksimalna težina za vožnju po zemlji (engl. *Maximum Taxi Weight* – MTW)** predstavlja najveću težinu koju zrakoplov može imati tijekom eksploatacije. To je konstruktivna težina jer je ona mjerodavna za proračun izvjesnih dijelova strukture,
- **maksimalna težina zrakoplova pri polijetanju (engl. *Maximum Take-off Weight* – MTOW)** predstavlja najveću težinu koju zrakoplov smije imati u trenutku polijetanja. Ta težina se ponekad naziva i maksimalna težina u momentu puštanja kočnica, kada se zrakoplov nalazi na uzletno-sletnoj stazi s koje treba poletjeti

poravnan s osi uzletno-sletne staze (engl. *Maximum Brake Release Weight*). U tu se težinu ne ubraja težina goriva utrošena za pokretanje motora i vožnju po voznim stazama,

- **maksimalna težina zrakoplova bez goriva (engl. *Maximum Zero Fuel Weight* – MZFW)** je strukturalna težina zrakoplova, a to znači da se zrakoplov statički proračunava na tu težinu. Kao što se vidi iz naziva te težine, to je najveća težina koju zrakoplov može imati tijekom leta ako pri tome potroši ukupno gorivo koje se nalazi u krilu zrakoplova. U tom je slučaju naprezanje kojem su izloženi nosivi elementi strukture krila najveće,
- **maksimalna težina zrakoplova pri slijetanju (engl. *Maximum Landing Weight* – MLW)** predstavlja najveću težinu zrakoplova pri kojoj on može sigurno sletjeti. Prekoračenje te težine izaziva strukturalna opterećenja stajnog trapa, spojeva krila i trupa zrakoplova. Razliku u težini između te konstrukcijske težine i težine zrakoplova pri uzlijetanju čini potrošeno putno gorivo.

Proizvođači u objavljenim specifikacijama zrakoplova koriste izraz „*Weight*“ umjesto „*Mass*“ pa bi pravilno težinu trebalo izražavati mjernom jedinicom Newton (N). U nastavku, za kratice MRW, MTW, MTOW, ZFW, MLW kao veličina koristit će se masa i mjerna jedinica kilogram (kg).

Proizvođač zrakoplova, u ovom slučaju Airbus u svojim specifikacijama navodi više različitih varijanti zrakoplova s obzirom na ograničenja njihovih masa. Tako je utvrđeno da je razmatrani zrakoplov Airbus A320 zračnog prijevoznika Croatia Airlinesa proizveden u WV 008 (engl. *Weight Variant*). Na temelju toga iz tablice 3 iščitavaju se ograničenja masa ovog tipa zrakoplova.

Tablica 3. Konstrukcijske mase razmatranog zrakoplova

WV 008	
Maksimalna masa zrakoplova na stajanci (MRW)	73900 kg
Maksimalna masa zrakoplova za vožnju po zemlji (MTW)	73900 kg
Maksimalna masa zrakoplova pri polijetanju (MTOW)	73500 kg
Maksimalna masa zrakoplova pri slijetanju (MLW)	64500 kg
Maksimalna masa zrakoplova bez goriva (MZFW)	61000 kg

Izvor: [16]

4.3.5. Ostali parametri za analizu potrošnje goriva razmatranog zrakoplova

Za potrebe uravnoteženja i opterećenja zrakoplova, broj putnika osnovna je veličina s kojom se ulazi u postupak. Kako bi se čitav postupak pojednostavnio, usvojene su standardne mase putnika za određene zrakoplove (broj sjedala) i tipove leta (redoviti, *charter*). Kao što se vidi u tablici 4. u procesu uravnoteženja i opterećenja zrakoplova usvojene su srednje vrijednosti masa putnika zbog nemogućnosti vaganja svakog putnika prije ulaska u zrakoplov. Te standardne mase su u upotrebi u većini zrakoplovnih kompanija. Pojedine kompanije rade razliku između muškaraca i žena, a ponekad se primjenjuju i zimska i ljetna masa putnika pri čemu su zimske mase veće s obzirom na to da putnici na sebi nose odjeću i obuću veće mase. U te mase putnika uključena je i masa ručne prtljage koju putnik prilikom ukrcavanja unosi sa sobom u kabinu zrakoplova [17].

Tablica 4. Standardne mase putnika

Tip leta	Muškarci	Žene	Djeca (2-12 godina)	Svi odrasli
Redoviti promet	88 kg 195 lb	70 kg 155 lb	35 kg 75 lb	84 kg 185 lb
Charter letovi	83 kg 183 lb	69 kg 152 lb	35 kg 77 lb	76 kg 168 lb

Izvor [18]

Ostala prtljaga se predaje službi za registriranje putnika i prtljage (engl. *Check-in*) koja je važe i dostavlja aktualne mase službi za uravnoteženje i opterećenje zrakoplova. Standardne mase ostale prtljage ovisno o tipu leta prikazane su u tablici 5.

Tablica 5. Standardne mase prtljage

Tip leta	Standardna masa prtljage
Domaći	11kg 24 lb
Unutar Europe	13 kg 29 lb
Interkontinentalni	15 kg 33 lb
Svi ostali	13 kg 29 lb

Izvor: [18]

4.4. Potrošnja goriva zrakoplova tijekom odabranog profila leta

Ova analiza potrošnje goriva napravljena je na temelju Operativnog plana leta (engl. *Operational Flight Plan* - OFP) Croatia Airlinesa. Operativni plan leta dobiven je iz programa LIDO *Flight Planning*, koji pomoću algoritama proračunava najefektivniju rutu po trošku, gorivu i vremenu. Važno je napomenuti da se planirana potrošnja goriva zrakoplova dobivena iz Operativnog plana leta može bitno razlikovati od stvarne potrošnje očitane s uređaja u kabini zrakoplova. Razlog tome je što su u Operativnom planu leta približno točno opisani meteorološki uvjeti u odnosu na stvarne uvjete koji su se dogodili za vrijeme leta. Putanja leta je također podložna promjenama od strane kontrole zračnog prometa, iz tog razloga nije moguće znati točnu putanju i brzinu zrakoplova koje će direktno utjecati na potrošnju goriva.

Razmatrani zrakoplov je Airbus A320-214 registracijskih oznaka 9A – CTK i imena Split. Operativni plan leta rađen je u uvjetima Međunarodne standardne atmosfere (ISA) pri kojima su poznati parametri veličina koje se odnose na atmosferu (temperatura, tlak, gustoća), a koji se mijenjaju ovisno o visini leta zrakoplova.

Razmatrani zrakoplov Airbus A320-214 leti s Međunarodne zračne luke Zagreb (LDZA/ZAG) na Zračnu luku Frankfurt na Majni (EDDF/FRA). Ukupna udaljenost (engl. *Total Distance* – TTL DIST) između dviju zračnih luka iznosi 440 nm, odnosno oko 815 km. Procijenjena ukupna masa (engl. *Estimated* – EST) putnika, prtljage i tereta iznosi 17000 kg, jednako kao i planirana ukupna masa (engl. *Planned* – PLN). Ukupna masa zrakoplova bez goriva (engl. *Zero Fuel Weight* – ZFW) iznosi 61000 kg. Maksimalna konstruktivna masa zrakoplova u slijetanju (engl. *Maximum Landing Weight* – MLW) iznosi 64500 kg, dok planirana masa zrakoplova u slijetanju iznosi 63551 kg. Maksimalna konstruktivna masa u polijetanju (engl. *Maximum Take-off Weight* – MTOW) ovog tipa zrakoplova iznosi 73500 kg, dok je planirana masa polijetanja (engl. *Take-off Weight* – TOW) 66566 kg. Masa zrakoplova u polijetanju TOW jednaka je zbroju mase zrakoplova bez goriva ZFW i mase goriva u tankovima. Masa zrakoplova u polijetanju TOW ne smije biti veća od maksimalne mase u polijetanju MTOW koju propisuje proizvođač zrakoplova. Isto vrijedi i za masu zrakoplova u slijetanju, tj. vrijednost LW ne smije biti veća od vrijednosti MLW.

Proračunati protok goriva (engl. *Average Fuel Flow*) tijekom odabranog leta iznosi 2622 kg/h i označen je kraticom AVGE FF na Operativnom planu leta. Potrebno gorivo za odabrani let (engl. *Trip Fuel*) iznosi 3015 kg. Kratica CONTMIN označava potrebno gorivo za neplanirane situacije i iznosi 200 kg. Kratica ALTN označava potrebno gorivo od odredišne zračne luke, tj. Zračne luke Frankfurt, do prve alternativne zračne luke slijetanja, u ovom slučaju Zračne luke Stuttgart (EDDS/STR). Masa tog goriva iznosi 1151 kg, a planirano vrijeme leta od odredišne do prve alternativne zračne luke iznosi 27 minuta. Druga alternativna zračna luka slijetanja za odabrani let je Zračna luka Köln (EDDK/CGN). Udaljenost od odredišne Zračne luke Frankfurt do Zračne luke Köln iznosi 153 nautičke milje, a planirano gorivo za tu udaljenost je 1483 kg. Kratica FINAL RES označava dodatno gorivo koje je potrebno u slučaju čekanja (engl. *Holding*) zrakoplova na slijetanje na alternativnu zračnu luku, uslijed loših meteoroloških uvjeta, prometnog zagušenja zračne luke, zauzetosti uzletno-sletne staze itd. i ono iznosi 1200 kg. Gorivo potrebno za vožnju po manevarskim površinama Zračne luke Zagreb i Frankfurt iznosi 187 kg, i označeno je kraticom TAXI (engl. *Taxiways*). Kratica TOF (engl. *Take-off Fuel*) označava potrebno gorivo za polijetanje, a taj podatak ispunjava letačko osoblje zrakoplova. Ukupno planirano gorivo koje se nalazi u tankovima razmatranog zrakoplova u trenutku polijetanja iznosi 5566 kg i označeno je kraticom PLNTOF na Operativnom planu leta. U tablici 6. nalazi se Operativni plan leta prema kojem je analizirana potrošnja goriva zrakoplova Airbus A320-214 Croatia Airlinesa za pripadajući let Zagreb – Frankfurt.

Tablica 6. Operativni plan leta Croatia Airlinesa, [10]

```
OFP      OU4321/30    30OCT LDZA/ ZAG  EDDF/ FRA   ELEVATION     362
1        9ACTK  (101.1)     1500/1510  1614/1630   FMS
                      EST 1500/1510  1619/1635   COST INDEX     67
                      CTOT     ....               ROUTE      ZAGFRA
ATS C/S  CTN4321       ACT ..../....  ..../....   TTL DIST      440
                                                  SPEED        ECON
       LOAD     ZFW   ADDFU           LW     TOW  AVGE FF      2622
EST   17000   61000      0L   MAL  64500   73500  AVGE WC      P000
PLN   17000   61000      0L   PLN  63551   66566
ACT  ......  ......            ......  ......   TKOF ALTN .......
--------- --------- --------- --------- --------- --------- --------
FLIGHT PLAN ROUTE
```

```
-LDZA/04 F360 OBUTI DCT SUBEN T161 SPESA SPESA1L EDDF/25L
--------- --------- --------- --------- --------- --------- --------
REMARKS(DISPATCH) & CLEARANCES:
--------- --------- --------- --------- --------- --------- --------

TRIP        3015  01.09               .....  .....

CONTMIN      200  00.05               .....  .....

ALTN        1151  00.27  EDDS         .....  .....  ....

FINAL RES   1200  00.30               .....  .....

HLDD       .....  .....               .....  .....

ADDFU      .....  .....

PLNTOF      5566  02.11                           FIVE FIVE SIX

EXTRA     ......  .....

TOF       ......  .....               .....  .....

TAXI         .187  00.10               .....

BLOCK     ......         TCAP  18730  .....  REM FUEL ...... AT ....

--------- --------- --------- --------- --------- --------- --------

      ALTN      DIST  LVL   WIND  TIME   FUEL VIA
      EDDS/25    123  170 00/000  0027   1151 ANEKI9F ANEKI Y163
                                             NEKLO Y171 INKAM N850
                                             KRH Z729 LBU DCT
 INFO/EDDK/32R   153  140 00/000  0035   1483 OBOKA1G OBOKA
                                  P0008   P332
 INFO/EDDL/23L   183  180 00/000  0038   1594 MARUN6F MARUN Y152
                                  P0011   P443 ARPEG Z850 ADEMI T854
                                             DOMUX DOMUX2G
 INFO/EDDM/26L   224  230 00/000  0043   1824 CINDY1F CINDY DCT
                                  P0015   P673 HAREM T104 ANORA
                                             ANORA3A

--------- --------- --------- --------- --------- --------- --------

DISPATCHER  DLESK              COMMANDER ......................


NO TANKERING RECOMMENDED (P)
REASON EXTRA FUEL    LOSS FOR EXTRA FUEL: 33US/TO
o ECN-ECONOMICAL     o OPN-TEMPORARILY      o ATC-AIR TRAFFIC CNTRL
o FOB-FUEL ON BOARD  o MSC-MISCELLANEOUS    o FPC-FLIGHT PLN CORR
o WXX-WEATHER        o DEV-TECHNICAL        ACT.CI/CRZ USED: . . .
```

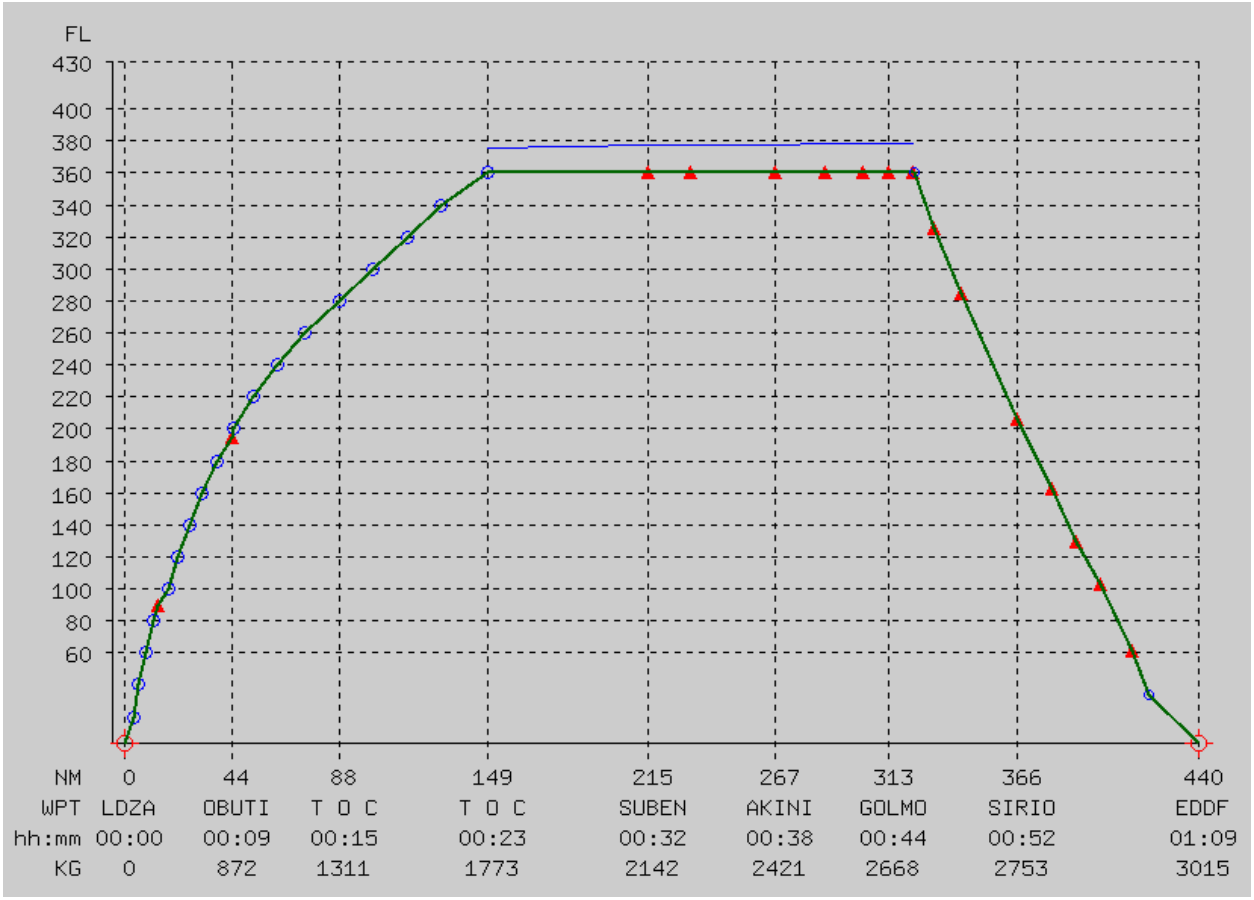
```
--------- --------- --------- --------- --------- --------- --------
CLEARANCES                                          RVSM ALT CHK


-------------------------------------------------------------------
AWY        POSITION     DIST  TRK TIME LVL  TP  W/V    TAS  RFU/ACT
MORA                                        T          GS    USED/..
-------------------------------------------------------------------
      LDZA/04   A/B
-------------------------------------------------------------------
SID    N46.22.7E016.16.4  44         9 CLB  36  36/000      4694 ...
103    OBUTI             396      0009     M00               872 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------
                         105        14      36  36/000      3793 ...
TOC                      291      0023 360 P00               1773 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------
       N48.26.2E013.20.2  66 T316    9      36  36/000 459  3424 ...
31     SUBEN             225      0032     -55         458  2142 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------
T161   N48.32.3E012.56.9  17 T292    2      36  36/000 459  3334 ...
33     NENUM             208      0034     -56         459  2232 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------
T161   N48.45.0E012.07.5  35 T291    4      36  36/000 459  3145 ...
33     AKINI             173      0038     -56         459  2421 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------
T161   N48.48.1E011.38.0  20 T279    3      36  36/000 459  3039 ...
36     NIMDI             153      0041     -56         459  2527 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------
T161   N48.50.7E011.13.2  16 T279    2      36  36/000 459  2949 ...
41     ERNAS             137      0043     -56         459  2617 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------
T161   N48.57.8E011.03.3  10 T318    1      36  36/000 459  2898 ...
41     GOLMO             127      0044     -56         459  2668 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------
T161   N49.04.8E010.53.4  10 T317    2      36  36/000 459  2846 ...
40     REDNI             117      0046     -56         459  2720 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------
                          1 T317    0 DES  36  36/000 459  2841 ...
TOD                      116      0046     -56         459  2725 ...
                                  ../..
```

```
-------------------------------------------------------------------------
T161   N49.51.7E009.20.9  76        12 DES      36/000      2740 ...
35     SPESA              40      0058                     2826 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------------
STAR   N49.55.3E009.02.4  13         2 DES      36/000      2710 ...
30     CHA       115.35   27      0100                     2856 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------------
                          27         9          36/000      2551 ...
       EDDF/25L            0      0109                     3015 ...
                                  ../..

ZFW CORR PS 1000 PLNTOF   PS 46 / MS 1000 PLNTOF MS 44
2000 FT BELOW     TRIP   PS 20  / TIME 01.09
4000 FT BELOW     TRIP   PS 64  / TIME 01.08


-------------------------------------------------------------------------
ADDITIONAL ALTERNATE INFO FOR: OFP OU4321/30OCT LDZA/ZAG - EDDF/FRA
-------------------------------------------------------------------------


-------------------------------------------------------------------------
1ST DESTINATION ALTERNATE AERODROME: EDDS
RTE DIST: 123    FT: 0027
FLIGHT PLAN ROUTE
-EDDF/25L ANEKI9F ANEKI Y163 NEKLO Y171 INKAM N850 KRH Z729 LBU DCT
EDDS/25
-------------------------------------------------------------------------
AWY        POSITION     DIST  TRK TIME LVL  TP  W/V    TAS  RFU/ACT
MORA                                          T         GS    USED/..
-------------------------------------------------------------------------
       EDDF/25L A/B
-------------------------------------------------------------------------
                          36         8 CLB  36  36/000      1801 ...
TOC                       87      0008 170 M00               750 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------------
RSID   N49.19.0E008.28.8  15 T185    2       36  36/000 350  1722 ...
29     ANEKI              72      0010     -19         350   829 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------------
Y163   N49.17.2E008.28.6   2 T185    1       36  36/000 350  1709 ...
22     NEKLO              70      0011     -19         350   842 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------------
Y171   N49.09.0E008.36.5   9 T148    1       36  36/000 350  1642 ...
40     INKAM              61      0012     -19         350   909 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------------
                           1 T186    0 DES  36  36/000 350  1637 ...
```

```
TOD                        60      0012     -19         350   914 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------
Z729   N48.54.8E009.20.4   39         8 DES      36/000      1543 ...
35     LBU       109.2     21      0020                     1008 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------
                           21         7          36/000      1400 ...
       EDDS/25              0      0027                     1151 ...
                                  ../..

-------------------------------------------------------------------
2ND DESTINATION ALTERNATE AERODROME: EDDK
RTE DIST: 153    FT: 0035
FLIGHT PLAN ROUTE
-EDDF/25L OBOKA1G OBOKA EDDK/32R
-------------------------------------------------------------------
AWY        POSITION     DIST  TRK TIME LVL  TP  W/V    TAS  RFU/ACT
MORA                                         T         GS    USED/..
-------------------------------------------------------------------
       EDDF/25L A/B
-------------------------------------------------------------------
                           76        18 CLB  36  36/000      1784 ...
TOC                        77      0018 140 M01              1099 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------
RSID   N50.15.3E007.44.3   13 T309    2       36  36/000 350  1698 ...
35     MASIR               64      0020     -13         350  1185 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------
RSID   N50.21.7E007.39.9    7 T336    1       36  36/000 350  1646 ...
33     RAVKI               57      0021     -13         350  1237 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------
                            4 T336    1 DES  36  36/000 350  1615 ...
TOD                        53      0022     -13         350  1268 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------
RSID   N50.44.7E007.20.3   22         4 DES      36/000      1567 ...
29     OBOKA               31      0026                     1316 ...
                                  ../..
-------------------------------------------------------------------
                           31         9          36/000      1400 ...
       EDDK/32R             0      0035                     1483 ...
                                  ../..

-------------------------------------------------------------------
END OF ADDITIONAL ALTERNATE INFO
-------------------------------------------------------------------


FF EUCHZMFP EUCBZMFP
```

```
       EDDFCTNX
(FPL-CTN4321-IS
-A320/M-SDE2FGIJ1RWY/LB1
-LDZA1500
-N0458F360 OBUTI DCT SUBEN T161 SPESA SPESA1L
-EDDF0059 EDDS
-PBN/B2B3B4B5D1S2 DOF/201030 REG/9ACTK EET/LJLA0008 LOVV0012
 EDUU0031 EDGG0050 CODE/501D20 OPR/CTN PER/C RVR/075 RMK/24 HOUR
 CONTACT +385 1 6164 522)
```

Na temelju podataka dobivenih iz Operativnog plana leta, prema grafikonu 4. analizirana je potrošnja goriva zrakoplova po segmentima leta. Za svaki segment leta dobivena je masa potrošenog goriva u kilogramima (KG), trajanje tog segmenta leta u satima i minutama (hh : mm), te prijeđena horizontalna udaljenost zrakoplova u nautičkim miljama (NM).



Grafikon 4. Potrošnja goriva razmatranog zrakoplova po segmentima leta [10]

U tablici 7. nalaze se podaci o potrošnji goriva zrakoplova Airbus A320-214 Croatia Airlinesa na ruti Zagreb – Frankfurt dobiveni iz grafikona 4. Iz tablice je vidljivo kako je u prvom segmentu leta koji uključuje polijetanje s Međunarodne zračne luke Zagreb potrošeno 872 kg goriva, što je približno 29% ukupno potrošenog goriva odabranog leta.

Tablica 7. Analiza potrošnje goriva prema planu leta Croatia Airlinesa

Segment leta (WPT)	Trajanje segmenta (hh : mm)	Prijeđena udaljenost (NM)	Potrošeno gorivo (KG)
LDZA	00:09	44	872
OBUTI	00:06	44	439
T O C	00:08	61	462
T O C	00:09	66	369
SUBEN	00:06	52	279
AKINI	00:06	46	247
GOLMO	00:08	53	85
SIRIO	00:17	74	262
Ukupno (cijeli let)	01:09	440	3015

Izvor: [10]

Potrošnju goriva razmatranog zrakoplova moguće je analizirati i po fazama leta koje se mogu podijeliti na; polijetanje i penjanje, krstarenje te spuštanje i slijetanje. Tako je u prvoj fazi koja uključuje polijetanje i penjanje zrakoplov potrošio 1773 kg goriva, odnosno približno 59% ukupno potrošenog goriva. Točna količina goriva potrebnog za polijetanje (engl. *Take-off Fuel* – TOF) zrakoplova, ne uključujući fazu penjanja nije navedena u Operativnom planu leta s obzirom na to da ju računa i upisuje kapetan zrakoplova nakon

polijetanja. Planirano vrijeme zrakoplova da postigne zadanu razinu leta FL360, odnosno 36000 ft iznosi 23 minute i za to vrijeme zrakoplov je prešao 149 nautičkih milja. Od trenutka postizanja razine leta (engl. *Flight Level* - FL) zrakoplov prelazi u fazu krstarenja koja traje približno 24 minute i u toj fazi zrakoplov troši 952 kg goriva, približno 31% ukupno potrošenog goriva i prelazi horizontalnu udaljenost od 177 nautičkih milja. Posljednja faza počinje na visini krstarenja, zrakoplov u fazi spuštanja i slijetanja troši 290 kg goriva, odnosno oko 10% ukupno potrošenog goriva, te prelazi horizontalnu udaljenost od 114 nautičkih milja u vremenskom periodu od 22 minute.

5. Analiza potrošnje i upravljanja potrošnjom goriva na primjeru flote razmatrane zrakoplovne kompanije

Najveći utjecaj na ekonomičnost potrošnje goriva zrakoplova ima tehnika letenja (brzina zrakoplova, visina leta). Odgovorne letačke posade pridržavajući se navedenog plana leta temeljenog na prioritetima proizvođača zrakoplova mogu uštedjeti velike količine goriva te smanjiti ukupne troškove zrakoplovnih kompanija.

Proizvođač zrakoplova Airbus u svojem priručniku za upravljanje potrošnjom goriva navodi niz uputa i preporuka zrakoplovnim kompanijama kako bi mogle ostvariti znatne uštede u potrošnji goriva tijekom svih faza leta. Kako bi se ostvarila minimalna potrošnja goriva tijekom leta, potrebno je zadovoljiti sljedeće uvjete:

- dobro planiranje leta temeljenog na pouzdanim informacijama,
- dobro uravnoteženje i opterećenje zrakoplova (mase i težišta zrakoplova),
- aerodinamički čist zrakoplov,
- optimalno korištenje sustava zrakoplova (upravljačke površine, oprema),
- letne procedure koje odgovaraju prioritetima proizvođača zrakoplova,
- korištenje FMS-a (engl. *Flight Management System*) od strane posade zrakoplova.

5.1. Primjena postupka optimizacije potrošnje goriva – *cost index*

Integralni iskaz naturalnog i vrijednosnog učinka produktivnosti potrošnje goriva u poslovnoj strategiji zrakoplovne kompanije znači racionalizaciju prijevoznog procesa i uspješnije poslovanje, što se u praksi često realizira primjenom tzv. *cost index* postupka. Indeks troškova leta, tj. *Flight Cost Index* (CI) može se definirati pomoću formule (1):

$$CI = \frac{C_T}{C_F} \tag{1}$$

pri čemu su:

- C_T ukupni operativni troškovi (u koje nisu uključeni troškovi goriva),
- C_F troškovi goriva.

Pri definiranju C_T treba uzeti u obzir one troškove na koje direktno utječe brzina leta, odnosno ukupno vrijeme leta. Neki drugi troškovi, kao što je amortizacija, troškovi posade, osiguranje, putnički servis i slično mogu također biti uključeni u kalkulaciju ukupnih operativnih troškova.

Što je CI manji, to su troškovi vezani za vrijeme manji od troškova goriva pa je najvažniji stavak minimalna potrošnja goriva. Rast CI znači da troškovi vezani za vrijeme ne mogu biti zanemareni što dovodi do povećanja vrijednosti brzine i potrošnje goriva, a u smislu iznalaženja konačne optimizacije ukupnih ušteda [2].

Indeks troškova može se podijeliti na niske, srednje i visoke. Ovisno o tipu zrakoplova i odnosu troškova vremena i troškova goriva pojedinog zračnog prijevoznika definira se optimalna vrijednost indeksa troškova. Za obitelj zrakoplova A320 indeks troškova prikazan je u tablici 8. Iz tablice se može vidjeti primjerice da je u slučaju visokih troškova goriva (veći od 0,9 US$/USG) i niskih troškova vremena (manji od 10 US$/min) optimalna vrijednost indeksa troškova 40.

Tablica 8. Indeks troškova za zrakoplove obitelji A320

Troškovi vremena (US$/min) / Troškovi goriva (US$/USG)	Niski < 10	Srednji 10 < < 15	Visoki > 15
Niski < 0.7	**40**	**60**	**80**
Srednji 0.7 < < 0.9	**30**	**45**	**60**
Visoki > 0.9	**25**	**40**	**50**

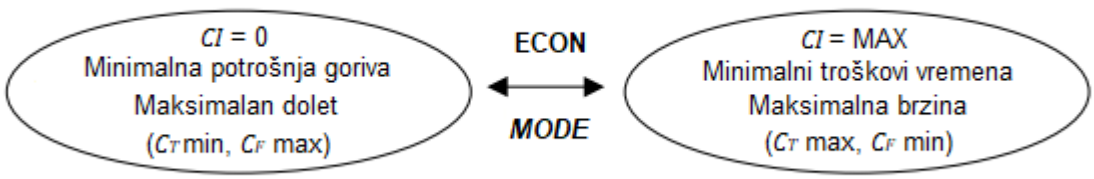
Izvor: [19]

5.1.1. Određivanje indeksa troškova

Vrijednost indeksa troškova (CI) određuje se složenom i preciznom prometno-ekonomskom analizom svih vrsta postojećih troškova i to za svaku pojedinu rutu u standardnim uvjetima atmosfere.

Indeks troškova koristi se u zrakoplovnom sustavu upravljanja letom (engl. *Flight Management* System – FMS). Maksimalne vrijednosti indeksa troškova variraju ovisno o tipu FMS-a. Uobičajeni raspon je od 0 do 99 (*Smiths*) ili od 0 do 999 (*Honeywell*) za zrakoplove Airbus.

Najniže vrijednosti indeksa troškova omogućavaju minimalnu potrošnju goriva i maksimalni dolet. Veće vrijednosti indeksa troškova uzrokuju da FMS pruži minimalno vrijeme leta, ali poveća potrošnju goriva. Mjerne jedinice za indeks troškova su kg/min leta, odnosno 100 lb/h leta [20]. Grafički prikaz odnosa parametara indeksa troškova pri minimalnim i maksimalnim vrijednostima vidljiv je na slici 10.



Slika 10. Odnos parametara indeksa troškova

Izvor: [19]

Analiza ekstremnih slučajeva indeksa troškova [20]:

1. Minimalni indeks troškova CI = 0

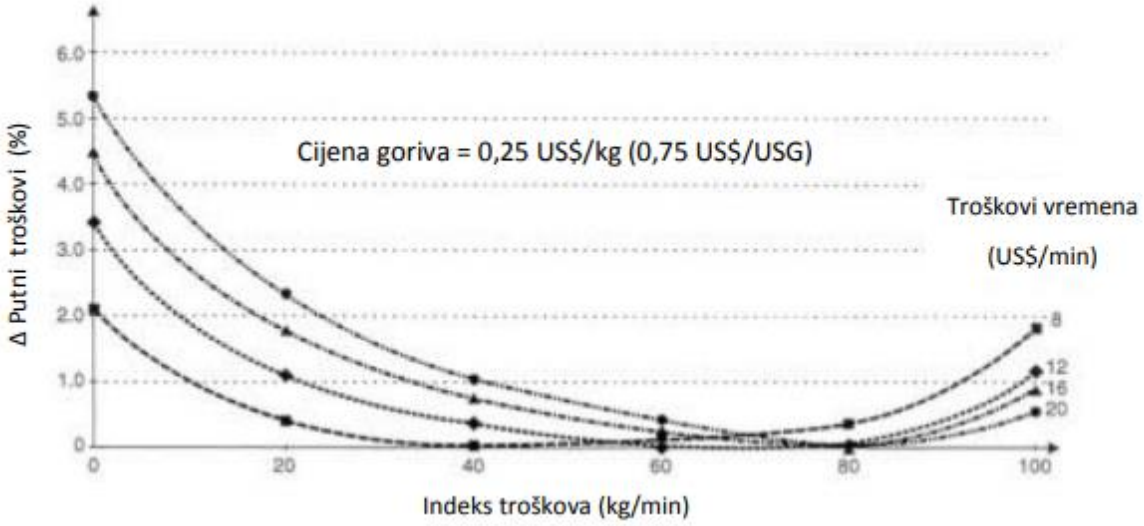
   Kada su troškovi ovisni o vremenu niski, a suprotno tome troškovi goriva visoki, indeks troškova će biti minimalan. Potrošnja goriva je minimalna, što znači da će i putna brzina biti manja. Pri letu s minimalnim indeksom troškova moguće je ostvariti maksimalni dolet (engl. *Maximum Range Cruise* - MRC). Minimalni indeks troškova koristi se u situacijama kada je cijena goriva iznimno visoka što uvelike utječe na ukupne troškove leta,
2. Maksimalni indeks troškova CI = MAX

   Suprotno od minimalnog indeksa troškova, maksimalni indeks troškova je rezultat visokih troškova ovisnih o vremenu, te niskih troškova goriva. Kada su troškovi po minuti trajanja leta visoki potrebno je smanjiti vrijeme trajanja leta, što znači povećati putnu brzinu. Povećanjem putne brzine, povećava se i potrošnja goriva, ali ne utječe znatno na ukupne troškove jer je trošak goriva relativno nizak.

5.1.2. Ukupni putni troškovi kao funkcija indeksa troškova

Neprecizno izračunati troškovi goriva i vremena rezultirat će pogrešnim izračunom indeksa troškova, a samim tim i ukupnog putnog troška. Primjena optimalnog indeksa troškova doprinosi smanjenju ukupnog putnog troška. Analizirane su dvije situacije promjene ukupnih troškova za zrakoplov Airbus A320 [20]:

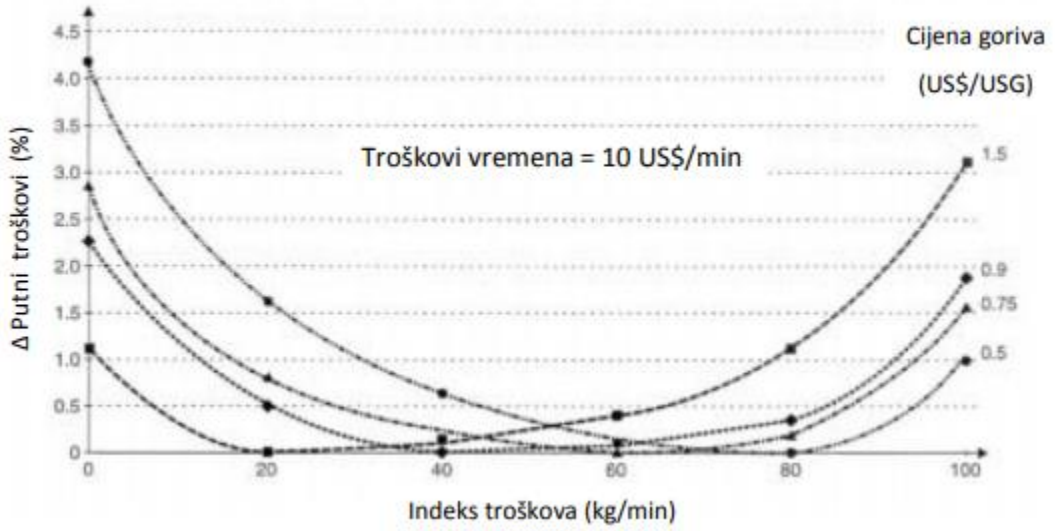
1. Ovisnost ukupnih troškova i indeksa troškova pri fiksnoj cijeni goriva (grafikon 5).



Grafikon 5. Funkcija ukupnih troškova i indeksa troškova pri fiksnoj cijeni goriva za zrakoplova A320 [20]

Da bi se smanjio ukupni putni trošak potrebno je koristiti povećane vrijednosti indeksa troškova što će dovesti do povećanja brzine. Povećanjem brzine smanjuju se troškovi ovisni o vremenu. Odstupanje od optimalnog indeksa troškova rezultirati će dodatnim putnim troškovima. Pogrešan izračun od 5 US$/min leta vremenski ovisnih troškova utječe na pogreške u vrijednosti indeksa troškova od ± 20. Pogreške u indeksu troškova utječu na povećanje ukupnih putnih troškova za 1 – 2% što rezultira nepotrebnim gubicima koji utječu na produktivnost zračnih prijevoznika.

2. Ovisnost ukupnih troškova i indeksa troškova pri fiksnim troškovima vremena (grafikon 6).



Grafikon 6. Funkcija ukupnih troškova i indeksa troškova pri fiksnim troškovima vremena za zrakoplov A320 [20]

Ukupni putni trošak potrebno je smanjiti koristeći smanjene vrijednosti indeksa troškova, koji će utjecati na smanjenje brzine leta. Smanjenjem brzine leta povećavaju se troškovi ovisni o vremenu, a smanjuju troškovi goriva. Promjena cijene goriva za 0,25 US$/USG može rezultirati povećanjem ukupnih putnih troškova za 1% ako se primjeni nepravilna vrijednost indeksa troškova.

5.2. Operativni postupci za smanjenje potrošnje goriva u polijetanju

Postoji mnogo tehnika u polijetanju koje mogu izravno utjecati na potrošnju goriva. Općenito učinci uvelike ovise o konstrukciji zrakoplova i motora, kao i o masi zrakoplova, nadmorskoj visini uzletno-sletne staze, temperaturi zraka itd.

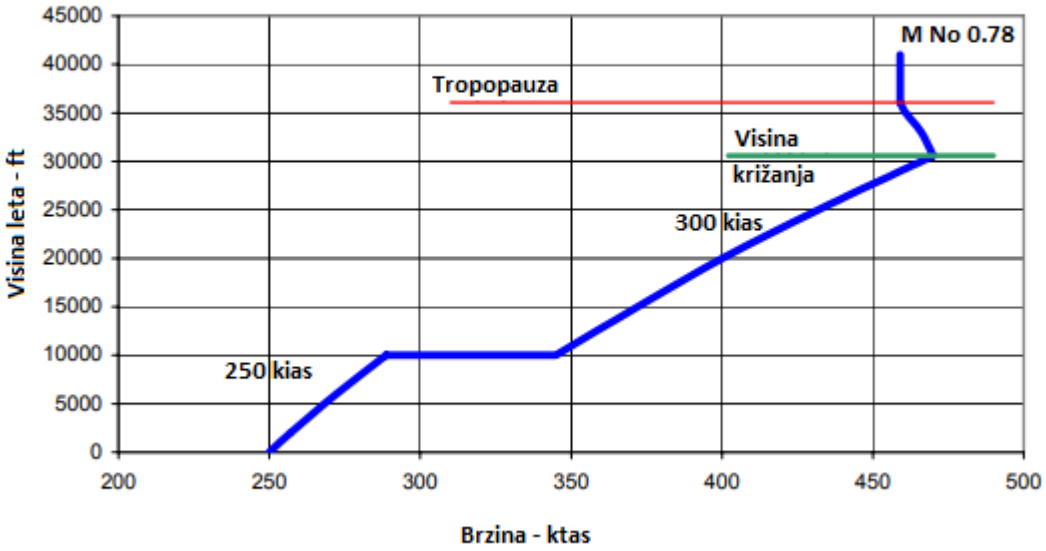
Kod polijetanja zrakoplova, u uvjetima kada je pomoćna energetska jedinica APU (engl. *Auxiliary Power Unit*) isključena, mogu se postići značajna poboljšanja u performansama polijetanja, te tako utjecati na ekonomičniju potrošnju goriva. Takvim postupkom kod polijetanja moguće je smanjiti potrošnju goriva za 2-3 kg kod Airbusa A320, te 5-10 kg kod Airbusa A340. U slučajevima korištenja APU jedinice prilikom izguravanja zrakoplova s pozicije te taksiranja po manevarskim površinama u trajanju od 12 minuta dolazi do dodatne potrošnje goriva od 30 kg za zrakoplov Airbus A320, te 60-70 kg za Airbus A340 [21].

Na količinu potrošenog goriva u polijetanju također utječe položaj uređaja za povećanje uzgona kao što su zakrilca i pretkrilca. S obzirom na to da veći uzgon pri polijetanju uzrokuje povećanje induciranog otpora što rezultira povećanom potrošnjom goriva, potrebno je zakrilca i pretkrilca postaviti u pravilan položaj. Kod Airbus-a A320 najekonomičnijom potrošnjom goriva u polijetanju rezultirat će podešavanje pretkrilca na kut od 18° i zakrilca na kut od 10°. Pri većim kutovima ovih uređaja doći će do povećanja potrošnje goriva.

5.3. Letne procedure u fazi penjanja

Postoje pravila o brzinama u fazi penjanja zrakoplova koje navodi Airbus u svojim dokumentima i FCOM (engl. *Flight Crew Operating Manual*) priručnicima, a koji se mijenjaju ovisno o tipu zrakoplova, a takvi zakoni rezultiraju najekonomičnijom potrošnjom goriva. Airbus je odabrao brzinu od 300 kts IAS kao optimalnu brzinu penjanja za svoje zrakoplove (grafikon 7). Jedan od preporučenih profila penjanja za zrakoplov Airbus A320 opisan je u nastavku [21]:

- nakon polijetanja zrakoplov se brzinom od 128,6 m/s (250 kts) IAS penje na FL100 (3048 m), nakon čega zaustavlja penjanje i na toj visini ubrzava do odabrane brzine IAS, primjerice 154,3 m/s (300 kts),
- nakon što postigne odabranu brzinu 300 kts IAS, nastavlja se penjati konstantnom brzinom sve dok ne postigne visinu na kojoj brzina od 300 kts ujedno iznosi i *Ma* 0.78. Ta visina se naziva visina križanja,
- od visine križanja pa do konačne visine leta održava se konstantna brzina od *Ma* 0.78.



Grafikon 7. Profil penjenja za zrakoplov Airbus A320 [21]

Visina križanja (engl. *Crossover Altitude*) predstavlja visinu na kojoj dolazi do prelaska sa stalne indicirane brzine IAS (engl. *Indicated Airspeed*), na stalan *Machov* broj. Standardni atmosferski uvjeti ISA ne utječu na visinu križanja na kojoj će doći do promjene s konstantne brzine IAS na konstantan *Machov* broj, već će ovisiti isključivo o odabranoj brzini penjanja IAS i preporučenom *Machovom* broju.

U fazi penjanja, pri stalnoj brzini IAS, stvarna brzina TAS (engl. *True Airspeed*) i *Machov* broj se povećavaju. Nakon što zrakoplov dostigne visinu križanja i nastavi se penjati stalnim *Machovim* brojem, stvarna brzina TAS i indicirana brzina IAS se smanjuju do visine tropopauze. Kako bi se točno utvrdili učinci zakona penjanja zrakoplova s aspekta ekonomične potrošnje goriva, faza penjanja i krstarenja ovisit će jedna o drugoj. Primjerice kraća duljina penjanja produžava duljinu krstarenja, a manja brzina penjanja zahtijeva više ubrzanja do postizanja brzine krstarenja.

Preporučeni profili penjanja napravljeni su za sve Airbusove zrakoplova, a temeljeni su na penjanju na visinu od 35000 ft, ubrzavanju nakon FL100 na odabranu brzinu IAS i krstarenju na fiksnoj udaljenosti. Preporučena brzina krstarenja je 0,78 *Ma* za obitelj zrakoplova Airbus A320 i 0,8 *Ma* za ostale tipove zrakoplova. Ovisno o tipu zrakoplova, u tablici 12 prikazana su standardna pravila o brzinama u penjanju.

Tablica 9. Brzine u penjenju za Airbus zrakoplove

Tip zrakoplova	Pravila o brzini
A300-600	250kts/300kts/M0.78
A310 (GE)	250kts/300kts/M0.79
A310 (PW)	250kts/300kts/M0.80
A318/A319/A320/A321	**250kts/300kts/M0.78**
A330	250kts/300kts/M0.80
A340-200/300	250kts/300kts/M0.78
A340-500/600	250kts/320kts/M0.82

Izvor: [21]

U svakom FCOM priručniku mogu se pronaći tablice na temelju kojih posada zrakoplova može izračunati predviđenu potrošnju goriva. U tablici 10 nalazi se predviđena potrošnja goriva od trenutka kada zrakoplov otpusti kočnice i krene ubrzavati po uzletno-sletnoj stazi do trenutka postizanja odabrane razine leta. Tablica potrošnje goriva rađena je u standardnim atmosferskim uvjetima ISA, a osim predviđene potrošnje goriva u njoj se nalazi i vrijeme za koje će zrakoplov dostići razinu leta, prijeđena horizontalna udaljenost i stvarna brzina zrakoplova TAS. Pretpostavka je da zrakoplov leti u čistoj konfiguraciji (uvučen stajni trap, zakrilca, pretkrilca, zračne kočnice), odnosno nema stupnja povećanja otpora zbog promjene aerodinamičke strukture zrakoplova. Također zrakoplov se penje pri maksimalnom potisku (engl. *Max. Climb Thrust*), u uvjetima normalne klimatizacije kabine (engl. *Normal Air Conditioning*) i s isključenim uređajima za sprječavanje nastanka leda na motorima i ostalim dijelovima zrakoplova (engl. *Anti-Icing Off*).

Tablica 10. Predviđena potrošnja goriva prema standardnom profilu penjanja, [22]

CLIMB - 250KT/300KT/M.78														
MAX. CLIMB THRUST NORMAL AIR CONDITIONING ANTI-ICING OFF				ISA+10 CG=33.0%				FROM BRAKE RELEASE TIME (MIN) DISTANCE (NM)			FUEL (KG) TAS (KT)			
	WEIGHT AT BRAKE RELEASE (1000KG)													
FL	66		68		70		72		74		76		78	
390														
370	25 163	1870 396	26 175	1981 398	28 189	2106 400								
350	22 141	1721 388	23 149	1809 389	24 158	1904 390	26 168	2008 392	27 179	2124 394	29 192	2254 396	31 208	2403 399
330	20 124	1604 380	21 131	1680 381	22 138	1761 382	23 145	1848 383	24 153	1941 384	25 163	2042 386	27 173	2152 388
310	18 110	1498 371	19 116	1566 372	20 121	1638 373	20 127	1714 374	21 134	1794 375	22 141	1879 376	24 149	1970 377
290	16 97	1389 360	17 101	1451 361	18 106	1515 362	18 111	1582 363	19 116	1653 364	20 122	1728 365	21 128	1806 366
270	14 82	1261 346	15 85	1315 347	15 89	1372 348	16 93	1430 348	17 97	1491 349	17 102	1555 350	18 106	1622 351
250	12 69	1148 333	13 72	1196 334	14 75	1246 334	14 79	1297 335	15 82	1351 336	15 86	1407 337	16 89	1465 337
240	12 64	1095 326	12 67	1140 327	13 69	1188 328	13 72	1236 328	14 76	1287 329	14 79	1339 330	15 82	1394 331
220	10 54	996 313	11 57	1037 314	11 59	1079 315	12 61	1123 315	12 64	1168 316	13 67	1214 317	13 69	1263 318
200	9 46	904 301	10 48	941 301	10 50	979 302	10 52	1018 302	11 54	1058 303	11 56	1099 304	12 59	1142 305
180	8 39	818 287	8 41	851 288	9 42	885 288	9 44	920 289	9 46	955 290	10 48	992 291	10 49	1031 291
160	7 33	737 274	7 34	766 274	8 36	797 275	8 37	828 275	8 38	860 276	9 40	893 277	9 41	927 278
140	6 27	660 259	7 28	686 260	7 30	713 261	7 31	741 261	7 32	769 262	8 33	799 263	8 35	829 264
120	6 23	586 244	6 23	610 245	6 24	634 246	6 25	659 246	6 26	684 247	7 27	710 248	7 28	737 249
100	4 16	468 217	5 16	487 218	5 17	506 218	5 18	526 219	5 18	546 220	5 19	567 221	5 20	588 222
50	3 8	304 180	3 9	316 180	3 9	328 182	3 9	341 183	3 10	354 184	3 10	367 185	3 10	380 186
15	2 4	190 131	2 4	198 132	2 4	205 133	2 4	213 134	2 4	221 136	2 5	229 137	2 5	237 139
LOW AIR CONDITIONING ΔFUEL = – 0.6 %			HIGH AIR CONDITIONING ΔFUEL = + 0.6 %				ENGINE ANTI ICE ON ΔFUEL = + 2.5 %				TOTAL ANTI ICE ON ΔFUEL = + 5 %			

Tablica je izrađena za preporučeni model penjanja koji je prethodno opisan. Ako se za primjer uzme zrakoplov koji se penje na visinu od 35000 ft (FL350), a ukupna masa u polijetanju mu iznosi 68000 kg, iz zeleno označenog pravokutnika na tablici može se očitati da predviđeno vrijeme penjanja na FL350 iznosi 23 minute, prijeđena udaljenost za to vrijeme je 149 NM na kojoj je zrakoplov potrošio 1809 kg goriva. Predviđena stvarna brzina penjanja iznosi 389 kts (200,12 m/s). Potrošnja goriva ovisit će i o načinu održavanja zrakoplova, starosti pogonske grupe, stanju strukture itd., pa je tablicu potrebno redovito ažurirati kako ne bi došlo do pogreške u proračunu.

5.4. Letne procedure u fazi krstarenja

Faza krstarenja predstavlja najvažniju fazu leta u pogledu potrošnje goriva. Budući da najveći dio leta otpada na fazu krstarenja, posebice kod dugih letova, moguće je ostvariti značajne uštede goriva. Iz tog razloga važno je imati disciplinirano letačko osoblje koje će se pridržavati navedenih preporuka [21].

Dva najvažnija parametra koja utječu na potrošnju goriva prilikom krstarenja zrakoplova jesu brzina (IAS ili *Mach*) te visina leta. Kada zrakoplov krstari na optimalnoj visina leta pri odabranom broju *Mach*, koeficijent uzgona (C_L) je konstantan i odgovara omjeru maksimalnog koeficijenta uzgona (C_L) i maksimalnog koeficijenta otpora (C_D) odabranog broja *Mach*. Kao rezultat toga, promjenjivi elementi su težina zrakoplova i statički tlak (P_S) optimalne visine.

Kako bi se smanjila potrošnja goriva, zrakoplov bi trebao letjeti na optimalnoj visini. Ipak, to nije uvijek moguće zbog ograničenih performansi kao što su maksimalna visina koju zrakoplov može dosegnuti (plafon leta) ili dostupna potisna sila pri krstarenju. Kod manjih težina zrakoplova, optimalna visina leta može biti iznad maksimalno potvrđene visine. Osim ograničenja visina uvjetovanih performansama zrakoplova, kontrola leta također može regulirati razine letenja.

Primjerice, ako optimalna visina leta određenog zrakoplova s obzirom na njegovu težinu iznosi 37000 ft, ali zbog određenih ograničenja kontrole zračnog prometa (engl. *Air Traffic Control* – ATC) zrakoplov leti na visini od 33000 ft, potrošnja goriva će biti veća. Tablica 11 prikazuje postotak povećanja potrošnje goriva u slučaju da zrakoplov krstari na udaljenosti od 500 nm (engl. *Nautical Mile*) pri FL330 umjesto FL370. Krstarenje na odgovarajućoj razini leta ima značajnu ulogu u potrošnji goriva.

Tablica 11. Povećanje potrošnje goriva s obzirom na visinu leta

Tip zrakoplova	Povećanje potrošnje goriva (kg)	Povećanje potrošnje goriva (%)
A300	238	5,2
A310	221	5,3
A318	150	6,2
A319	184	7,9
A320	**187**	**7,9**
A321	155	5,5
A330	342	5,6
A340	393	6,2

Izvor: [21]

Prethodno je napisano da na visini križanja dolazi do prelaska sa stalne brzine IAS na stalan *Machov* broj. Ako se u obzir uzmu standardne tehnike penjanja koje uključuju brzinu penjanja od 300 kts IAS, moguće je izračunati visine križanja pojedinih tipova zrakoplova. Tablica 12 prikazuje razliku u potrošnji goriva u slučajevima kada različiti tipovi Airbusovih zrakoplova lete na visini križanja umjesto na optimalnim visinama leta. U obzir su uzeti standardni atmosferski uvjeti ISA i pretpostavka da se u zrakoplovima nalazi maksimalan broj putnika i nešto tereta (2500 kg tereta za zrakoplove obitelji A320 i 5000 kg tereta za ostale tipove zrakoplova). U tablici je vidljivo da let na visini križanja

umjesto na optimalnoj visini dovodi do značajnog povećanja potrošnje goriva u odnosu na relativno kratko smanjenje vremena leta.

Tablica 12. Razlika u potrošnji goriva na visini križanja u odnosu na optimalnu visinu

Tip zrakoplova	Duljina sektora	Visina križanja	Optimalna razina leta	Uštođeno vrijeme (min)	Povećanje potrošnje goriva
A300	2000 nm	29000 ft	310/350	7	1190 kg
A310	2000 nm	30000 ft	350/390	3	2160 kg
A318	1000 nm	29000 ft	370	3	740 kg
A319	1000 nm	29000 ft	370	3	650 kg
A320	**1000 nm**	**29000 ft**	**350**	**2**	**580 kg**
A321	1000 nm	29000 ft	330	2	350 kg
A330	4000 nm	31000 ft	350/390	10	6380 kg
A340	6000 nm	29000 ft	310/350/390	17	10900 kg

Izvor: [21]

I za fazu krstarenja u priručniku FCOM nalaze se podaci (tablica 13) o predviđenoj potrošnji goriva koju može očitati posada zrakoplova. Pretpostavka je da zrakoplov krstari ekonomičnom brzinom od 0.78 *Mach* u ISA uvjetima. Prevladavaju uvjeti normalne klimatizacije kabine, a uređaji za sprječavanje nastanka leda na motorima i ostalim dijelovima zrakoplova su isključeni. Za primjer se može uzeti zrakoplov koji leti na visini od 37000 ft a ukupna masa mu iznosi 60000 kg, iz crvenog pravokutnika na tablici 13 može se očitati da će jedan motor zrakoplova potrošiti 1083 kg/h, odnosno dva motora

2166 kg/h. Predviđeni dolet zrakoplova za 1000 kg potrošenog goriva iznosi 206,5 nm. Optimalna brzina zrakoplova za tu visinu bi iznosila 447 ktas (229,96 m/s).

Tablica 13. Predviđena potrošnja goriva pri krstarenju zrakoplova, [22]

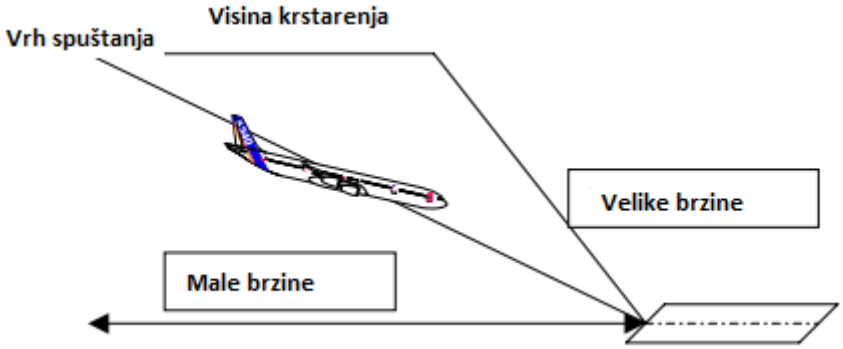
CRUISE - M.78

MAX. CRUISE THRUST LIMITS NORMAL AIR CONDITIONING ANTI-ICING OFF							ISA CG=33.0%		N1 (%) KG/H/ENG NM/1000KG		MACH IAS (KT) TAS (KT)	
WEIGHT (1000KG)	FL290		FL310		FL330		FL350		FL370		FL390	
50	80.3	.780	80.2	.780	80.0	.780	80.0	.780	80.5	.780	81.7	.780
	1280	302	1188	289	1106	277	1035	264	978	252	939	241
	180.3	462	192.6	458	205.1	454	217.2	450	228.7	447	238.3	447
52	80.5	.780	80.3	.780	80.3	.780	80.3	.780	80.9	.780	82.2	.780
	1290	302	1199	289	1119	277	1048	264	995	252	961	241
	179.0	462	190.9	458	202.8	454	214.4	450	224.9	447	232.8	447
54	80.7	.780	80.5	.780	80.5	.780	80.6	.780	81.3	.780	82.7	.780
	1299	302	1209	289	1132	277	1064	264	1013	252	986	241
	177.7	462	189.2	458	200.3	454	211.3	450	220.7	447	226.9	447
56	80.9	.780	80.7	.780	80.8	.780	80.9	.780	81.8	.780	83.2	.780
	1309	302	1221	289	1146	277	1080	264	1034	252	1015	241
	176.3	462	187.3	458	198.0	454	208.1	450	216.3	447	220.4	447
58	81.0	.780	81.0	.780	81.0	.780	81.3	.780	82.2	.780	83.8	.780
	1320	302	1235	289	1160	277	1098	264	1058	252	1048	241
	174.9	462	185.4	458	195.6	454	204.8	450	211.5	447	213.3	447
60	81.2	.780	81.2	.780	81.3	.780	81.7	.780	82.7	.780	84.5	.780
	1331	302	1249	289	1176	277	1117	264	1083	252	1083	241
	173.4	462	183.3	458	192.9	454	201.3	450	206.5	447	206.5	447
62	81.4	.780	81.4	.780	81.6	.780	82.1	.780	83.2	.780	85.1	.780
	1344	302	1262	289	1193	277	1139	264	1113	252	1120	241
	171.8	462	181.3	458	190.1	454	197.4	450	201.1	447	199.7	447
64	81.6	.780	81.7	.780	82.0	.780	82.6	.780	83.8	.780	85.9	.780
	1357	302	1277	289	1211	277	1163	264	1146	252	1157	241
	170.1	462	179.2	458	187.3	454	193.4	450	195.1	447	193.3	447
66	81.8	.780	81.9	.780	82.3	.780	83.0	.780	84.3	.780		
	1371	302	1293	289	1230	277	1188	264	1181	252		
	168.3	462	176.9	458	184.4	454	189.2	450	189.4	447		
68	82.0	.780	82.2	.780	82.7	.780	83.4	.780	84.9	.780		
	1385	302	1310	289	1252	277	1216	264	1217	252		
	166.7	462	174.7	458	181.2	454	184.8	450	183.7	447		
70	82.2	.780	82.5	.780	83.2	.780	83.9	.780	85.6	.780		
	1400	302	1328	289	1276	277	1250	264	1254	252		
	164.9	462	172.3	458	177.7	454	179.9	450	178.3	447		
72	82.5	.780	82.9	.780	83.5	.780	84.5	.780	86.3	.780		
	1416	302	1348	289	1302	277	1285	264	1292	252		
	163.0	462	169.8	458	174.3	454	175.0	450	173.1	447		
74	82.8	.780	83.2	.780	83.9	.780	85.0	.780				
	1433	302	1369	289	1329	277	1320	264				
	161.1	462	167.2	458	170.7	454	170.2	450				
76	83.0	.780	83.6	.780	84.4	.780	85.6	.780				
	1451	302	1392	289	1360	277	1358	264				
	159.1	462	164.4	458	166.7	454	165.6	450				

LOW AIR CONDITIONING	ENGINE ANTI ICE ON	TOTAL ANTI ICE ON
ΔFUEL = – 0.5 %	ΔFUEL = + 2 %	ΔFUEL = + 4.5 %

5.5. Letne procedure u fazi spuštanja

Spuštanje (engl. *Descent*) je faza leta koja započinje na visini krstarenja i traje do visine slijetanja, a kao i kod penjanja postoji više različitih profila. Dva su bitna parametra karakteristična za ovu fazu, a to su; kut spuštanja i brzina spuštanja. Što je veća brzina spuštanja, veći je i kut koji zrakoplov zatvara sa horizontalnom ravninom (slika 11).



Slika 11. Profili spuštanja zrakoplova

Izvor: [21]

Spuštanje se obično provodi u tri faze pri konstantnim vrijednostima brzina (IAS/*Mach*), a jedan od preporučenih profila spuštanja za Airbus A320 uključuje sljedeće [21]:

- u trenutku kada se zrakoplov počne spuštati, održava se brzina krstarenja od *Ma* 0.78 sve do visine križanja,
- na visini križanja dolazi do prelaska s brzine *Mach* 0.78 na brzinu 300 kts (154,3 m/s), nakon čega zrakoplov održava tu brzinu do FL100 (3048 m),
- na FL100 brzina se smanjuje do 250 kts (128,6 m/s) i održava sve do trenutka slijetanja.

Ako se u obzir uzme preporučeni profil spuštanja, na temelju tablice 13 iz FCOM priručnika letačko osoblje može izračunati predviđenu potrošnju goriva zrakoplova. Kao i kod faze penjanja i krstarenja, pretpostavka je da zrakoplov leti u čistoj konfiguraciji, u uvjetima normalne klimatizacije kabine i s isključenim uređajima za sprječavanje

nastanka leda na motorima i ostalim dijelovima zrakoplova. Također ručica snage postavljena je u IDLE poziciju u kojoj motori obično rade u režimu praznog hoda (minimalna snaga potrebna za održavanje rada motora). To je ujedno i razlog zbog kojeg u ovoj fazi dolazi do najmanje potrošnje goriva. Tablica je rađena u standardnim atmosferskim uvjetima ISA.

Tako se za primjer može uzeti zrakoplov koji započinje spuštanje na visini od 35000 ft (10668 m) a ukupna masa u tom trenutku mu iznosi 65000 kg. Iz priložene tablice (pravokutnik označen plavom bojom), može se iščitati predviđena potrošnja goriva tijekom faze spuštanja u kojoj će zrakoplov potrošiti 156 kg goriva u vremenu od 16 minuta leta i prijeći udaljenost od 95 nautičkih milja.

Tablica 14. Predviđena potrošnja goriva i vrijeme spuštanja zrakoplova, [22]

DESCENT - M.78/300KT/250KT									
IDLE THRUST NORMAL AIR CONDITIONING ANTI-ICING OFF			ISA CG=33.0%		MAXIMUM CABIN RATE OF DESCENT 350FT/MIN				
WEIGHT (1000KG)	45				65				
FL	TIME (MIN)	FUEL (KG)	DIST. (NM)	N1	TIME (MIN)	FUEL (KG)	DIST. (NM)	N1	IAS (KT)
390	16.1	204	101	68.8	17.4	165	106	IDLE	241
370	14.6	174	89	69.9	16.7	160	100	IDLE	252
350	12.9	134	77	72.1	16.0	156	95	IDLE	264
330	12.0	119	70	IDLE	15.4	153	91	IDLE	277
310	11.6	117	67	IDLE	14.8	149	86	IDLE	289
290	11.1	114	64	IDLE	14.2	145	82	IDLE	300
270	10.6	110	59	IDLE	13.4	141	76	IDLE	300
250	10.0	107	55	IDLE	12.7	136	71	IDLE	300
240	9.7	105	53	IDLE	12.3	133	68	IDLE	300
220	9.1	100	49	IDLE	11.5	127	62	IDLE	300
200	8.5	94	45	IDLE	10.6	119	56	IDLE	300
180	7.8	86	40	IDLE	9.8	109	51	IDLE	300
160	7.1	78	36	IDLE	8.8	97	45	IDLE	300
140	6.3	67	31	IDLE	7.9	83	39	IDLE	300
120	5.6	57	27	IDLE	6.9	70	33	IDLE	300
100	4.9	48	23	IDLE	6.0	58	28	IDLE	300
50	1.7	15	7	IDLE	2.1	18	9	IDLE	250
15	.0	0	0	IDLE	.0	0	0	IDLE	250

CORRECTIONS	LOW AIR CONDITIONING	ENGINE ANTI ICE ON	TOTAL ANTI ICE ON	PER 1° ABOVE ISA
TIME	–	+ 6 %	+ 6 %	–
FUEL	– 2 %	+ 28 %	+ 44 %	+ 0.2 %
DISTANCE	–	+ 3 %	+ 4 %	+ 0.3 %

5.5. Letne procedure u fazi slijetanja

Postupci u fazi završnog prilaženja (engl. *Final Approach*) i slijetanja (engl. *Landing*) zrakoplova su otprilike slični kao i kod polijetanja, a potrošnja goriva najviše će utjecati o konfiguraciji zrakoplova. Pod konfiguracijom zrakoplova se podrazumijeva podešavanje upravljačkih površina, tj. zakrilca i pretkrilca tijekom slijetanja. Kao i kod polijetanja veći kutovi upravljačkih površina povećat će potrošnju goriva zbog veće sile uzgona i posljedično većeg induciranog otpora. Drugu važnu ulogu u potrošnji goriva kod slijetanja ima postupak izvlačenja podvozja zrakoplova. Ranije izvlačenje podvozja uzrokovat će povećanje otpora što će rezultirati povećanjem potrebnog potiska i posljedično većom potrošnjom. Završno prilaženje i slijetanje pripadaju u najkritičnije faze leta zbog čega je najvažnija značajka ove faze njezina kvalitetna, stabilna i sigurna izvedba. Niti jedna od spomenutih značajki ne bi trebala biti ugrožena u pokušaju očuvanja goriva, a postupci u slijetanju trebaju biti prilagođeni zračnoj luci, uzletno-sletnoj stazi, opremi zrakoplova i vremenskim uvjetima [21].

5.6. Postupci pri taksiranju zrakoplova za smanjenje potrošnje goriva

Kod taksiranja zrakoplova, potrebna je dobra procjena vremena taksiranja kako bi se smanjila potrošnja goriva. Svaki zrakoplov određeni dio vremena provodi taksirajući po manevarskim površinama zračne luke, a to vrijeme prvenstveno ovisi o zagušenosti i veličinama zračnih luka.

Korištenje samo jednog motora prilikom taksiranja dvomotornog mlaznog zrakoplova, ili dva motora u slučaju četveromotornih zrakoplova može znatno utjecati na smanjenje potrošnje goriva. Budući da je kod ugašenog motora prilikom taksiranja zrakoplova potrebna veća potisna sila za vožnju po manevarskim površinama zračne luke potreban je i dodatan oprez kako ne bi došlo do oštećenja strukture stranim objektima (engl. *Foreign Object Damage* – FOD), i njihovog usisavanja u mlazne motore zrakoplova. U tablici 15 prikazane su uštede u potrošnji goriva različitih tipova Airbusovih zrakoplova u slučajevima gašenja jednog motora tijekom vremena taksiranja zrakoplova.

Tablica 15. Uštede u potrošnji goriva pri taksiranju zrakoplova s jednim motorom

Tip zrakoplova	12 minuta taksiranja (svi motori)	12 minuta taksiranja (8 minuta s ugašenim motorom)	Uštede pri ugašenom motoru
A300	300 kg	200 kg	100 kg
A310	240 kg	160 kg	80 kg
A318	120 kg	80 kg	40 kg
A319	120 kg	80 kg	40 kg
A320	**138 kg**	**92 kg**	**46 kg**
A321	162 kg	108 kg	54 kg
A330	300 kg	200 kg	100 kg
A340-200/300	300 kg	250 kg	50 kg
A340-500/600	420 kg	350 kg	70 kg

Izvor: [21]

5.7. Postupci razmatrane zrakoplovne kompanije za smanjenje potrošnje goriva

Upravljanje gorivom jedan je od ključnih čimbenika ukupnog poslovanja zračnih prijevoznika zbog velikih i čestih promjena cijena goriva. S obzirom na to cilj zračnih prijevoznika je svesti troškove goriva na minimum. Neki od postupaka koje primjenjuje Croatia Airlines za smanjenje potrošnje goriva tijekom svojih letova su navedeni u nastavku [23]:

- tehničke preinake zrakoplova koje uključuju preinake kabine zrakoplova, uklanjanje nepotrebnih masa zrakoplova, primjerice fizička dokumentacija (časopisi, novine, itd) se zamjenjuje elektronskim platformama,
- modifikacije zrakoplova,
- korištenje modernih aplikacija pri planiranju letova,
- suradnja s regulatornim tijelima i strukovnim udruženjima (ICAO, IATA, *Star Alliance*),
- nabava nove opreme / zrakoplova (A320neo),
- smanjenjem nošenja vode za toalet za 50% po letu čime se na godišnjoj razini uštedi približno 100 tona vode po zrakoplovu Airbus A320,
- uvođenjem „*single engine*“ taksiranja zrakoplova, čime se uštedi 20 tona goriva na godišnjoj razini i smanje troškovi za oko 20 000 eura,
- promjena putničke kabine zrakoplova na Airbus floti, pri čemu je smanjena masa zrakoplova za 200 kg i ostvarena ušteda od 100 000 eura na godišnjoj razini,
- analiziranjem i modificiranjem ruta, primjerice modifikacijom ruta na München letovima ostvarena je ušteda od oko 200 kg goriva po letu.

6. Zaključak

Troškovi goriva predstavljaju najznačajnije troškove za zračne prijevoznike. S obzirom na to ušteda goriva od presudne je važnosti jer omogućava reduciranje ukupnih troškova i znatno doprinosi uspješnosti poslovanja zračnih prijevoznika. Za odabir najpovoljnije rute svaki operator kao prvi izbor uzima u obzir onu rutu koja će biti najefektivnija po ukupnom trošku leta i potrošenom gorivu, te pripadajućem vremenu leta.

Svrha ovog diplomskog rada je odabir jednog od zrakoplova iz flote Croatia Airlinesa, te jedne od ruta na kojoj odabrani zračni prijevoznik prometuje. Odabran je putnički zrakoplov srednjeg doleta Airbus A320 i jedna od uobičajenih ruta, točnije ruta Zagreb – Frankfurt. Analiza potrošnje goriva odabranog zrakoplova napravljena je na primjeru Operativnog plana leta. Prema podacima iz Operativnog plana leta utvrđeno je da je zrakoplovu A320 bila potrebna ukupna količina goriva od 3015 kg na letu Zagreb – Frankfurt. Prosječna potrošnja goriva za zrakoplov iznosila je 2622 kg/h. Ukupna količina goriva koja se nalazila u tankovima zrakoplova u trenutku polijetanja iznosila je 5566 kg. Predviđena potrošnja goriva dobivena u Operativnom planu leta predstavlja najekonomičniju potrošnju, međutim ona se može razlikovati od stvarne potrošnje tijekom leta koja će ovisiti o stvarnim uvjetima u letu.

Postoje razni načini za uštedu u potrošnji goriva zračnih prijevoznika a jedan od njih je i primjena postupka optimizacije potrošnje goriva pomoću indeksa troškova. Točan proračuna indeksa troškova znači ušteda novca za zračne prijevoznike. Brzina gotovo svakog komercijalnog leta zrakoplova određena je indeksom troškova. Također veliki utjecaj na ekonomičnost potrošnje goriva ima tehnika letenja tijekom svih faza leta zbog čega je potrebno pridržavati se letnih procedura temeljenih na prioritetima proizvođača zrakoplova. Kvalitetno planiranje leta s točnim proračunom potrošnje goriva rezultirat će pouzdanim, sigurnim i isplativim letom zrakoplova.

Literatura

[1] Bazijanac E. Tehnička eksploatacija i održavanje zrakoplova. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2007.

[2] Tatalović M, Mišetić I, Bajić J. Planiranje zračnog prijevoza. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2017.

[3] Škurla Babić R. Gospodarenje i upravljanje u zračnom prometu. Autorizirana predavanja, Fakultet prometnih znanosti, 2018.

[4] IATA. Preuzeto sa: https://www.iata.org/en/publications/economics/fuel-monitor/ [Pristupljeno: veljača 2021.].

[5] Croatia Airlines. Godišnje izvješće društva Croatia Airlines d.d. i Grupe Croatia Airlines za 2019. godinu, Zagreb, 2019.

[6] Statista. Preuzeto sa: https://www.statista.com/statistics/655057/fuel-consumption-of-airlines-worldwide/ [Pristupljeno: veljača 2021.].

[7] Vidović A. Elementi stabilnosti i upravljivosti zrakoplova. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2010.

[8] Janković S, Vrdoljak M. Performanse zrakoplova. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2016.

[9] Croatiaairlines. Preuzeto sa: https://www.croatiaairlines.com/de/Buchen-Planen/Flotte [Pristupljeno: veljača 2021.].

[10] Croatia Airlines. Operativni plan leta, Zagreb, 2020.

[11] Crometeo. Preuzeto sa: https://www.crometeo.hr/atmosfera/ [Pristupljeno: veljača 2021.].

[12] Franjković D, Krajček K. Teorija leta 1 - Zbirka riješenih zadataka, Fakultet prometnih znanosti, 2011.

[13] Croatia Airlines. Preuzeto sa: https://www.croatiaairlines.com/hr/O-nama/Korporativne-informacije/flota/Airbus-A-320-200 [Pristupljeno: veljača 2021.].

[14] Airlines-inform. Preuzeto sa: https://www.airlines-inform.com/commercial-aircraft/airbus-a320.html [Pristupljeno: veljača 2021.].

[15] Jetphotos. Preuzeto sa: https://www.jetphotos.com/photo/9508041 [Pristupljeno: veljača 2021.].
[16] Airbus. Aircraft characteristics – Airport and maintenance planning: Blagnac Cedex, 2005.
[17] Steiner S, Vidović A, Bajor I, Pita O, Štimac I. Zrakoplovna prijevozna sredstva 1. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2008.
[18] Airbus. Flight operations support and line assistance: Getting to grips with aircraft performance monitoring, Blagnac Cedex, 2002.
[19] Airbus. Flight operations support and line assistance: Getting to grips with the cost index, Blagnac Cedex, 1998.
[20] Pecirep S. Utjecaj ekonomskih čimbenika na izbor parametara leta zrakoplova. Završni rad. Zagreb, Fakultet prometnih znanosti, 2016.
[21] Airbus. Flight operations support and line assistance: Getting to grips with fuel economy, Blagnac Cedex, 2004.
[22] Airbus. CTN A318/A319/A320/A321 Flight Crew Operating Manual, 2019.
[23] Croatia Airlines. ETS prezentacija MZOE – Compatibility Mode, Zagreb, 2020.

Popis kratica

APU	(Auxiliary Power Unit) pomoćna energetska jedinica
ATC	(Air Traffic Control) kontrola zračnog prometa
CI	(Cost Index) indeks troškova
DOC	(Direct Operating Cost) direktni operativni troškovi
FL	(Flight Level) razina leta
GE	(General Electric) proizvođač zrakoplovnih motora
IAS	(Indicated Air Speed) indicirana brzina zrakoplova
IATA	(International Air Transport Association) Međunarodna udruga za zračni prijevoz
ICAO	(International Civil Aviation Organization) Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva
IOC	(Indirect Operating Cost) indirektni operativni troškovi
ISA	(International Standard Atmosphere) Međunarodna standardna atmosfera
KTS	(Knots) čvor, mjerna jedinica za brzinu
MLW	(Maximum Landing Weight) maksimalna težina zrakoplova u slijetanju
MRC	(Maximum Range Cruise) maksimalni dolet u krstarenju
MRW	(Maximum Ramp Weight) maksimalna težina zrakoplova na stajanci
MTOW	(Maximum Takeoff Weight) maksimalna težina zrakoplova u polijetanju
MZFW	(Maximum Zero Fuel Weight) maksimalna težina zrakoplova bez goriva
NM	(Nautical Mile) nautička milja

OFP	(Operational Flight Plan) Operativni plan leta
PW	(Pratt & Whitney) proizvođač zrakoplovnih motora
R/C	(Rate of Climb) brzina penjanja
TAS	(True Airspeed) stvarna brzina zrakoplova
TOF	(Takeoff Fuel) gorivo u polijetanju
TOW	(Takeoff Weight) težina zrakoplova u polijetanju
ZFW	(Zero Fuel Weight) težina zrakoplova bez goriva

Popis slika

Slika 1. Sile koje djeluju na zrakoplov u fazi penjanja 14
Slika 2. Sile koje djeluju na zrakoplov u horizontalnom letu 15
Slika 3. Zrakoplov u fazi spuštanja 16
Slika 4. Prikaz odabrane rute Zagreb – Frankfurt za analizu potrošnje goriva 18
Slika 5. Zrakoplov Airbus A320 Croatia Airlinesa 24
Slika 6. Osnovne dimenzije zrakoplova (tlocrt) 24
Slika 7. Osnovne dimenzije zrakoplova (bokocrt) 25
Slika 8. Osnovne dimenzije zrakoplova (nacrt) 25
Slika 9. Presjek i osnovni dijelovi motora CFM56 26
Slika 10. Odnos parametara indeksa troškova 42
Slika 11. Profili spuštanja zrakoplova 55

Popis tablica

Tablica 1. Vrijednosti Međunarodne standardne atmosfere 21
Tablica 2. Tehničke specifikacije i značajke zrakoplova A320 23
Tablica 3. Konstrukcijske mase razmatranog zrakoplova 29
Tablica 4. Standardne mase putnika 30
Tablica 5. Standardne mase prtljage 30
Tablica 6. Operativni plan leta Croatia Airlinesa 32
Tablica 7. Analiza potrošnje goriva prema planu leta Croatia Airlinesa 38
Tablica 8. Indeks troškova za zrakoplove obitelji A320 41
Tablica 9. Brzine u penjenju za Airbus zrakoplove 48
Tablica 10. Predviđena potrošnja goriva prema standardnom profilu penjanja 50
Tablica 11. Povećanje potrošnje goriva s obzirom na visinu leta 52
Tablica 12. Razlika u potrošnji goriva na visini križanja u odnosu na optimalnu visinu 53
Tablica 13. Predviđena potrošnja goriva pri krstarenju zrakoplova 54
Tablica 14. Predviđena potrošnja goriva i vrijeme spuštanja zrakoplova 57
Tablica 15. Uštede u potrošnji goriva pri taksiranju zrakoplova s jednim motorom 60

Popis grafikona

Grafikon 1. Cijene mlaznog goriva i sirove nafte u razdoblju od 2014. do 2021..... 6
Grafikon 2. Udio troškova goriva u ukupnim operativnim troškovima..... 10
Grafikon 3. Struktura troškova Croatia Airlinesa za 2019..... 11
Grafikon 4. Potrošnja goriva razmatranog zrakoplova po segmentima leta 37
Grafikon 5. Funkcija ukupnih troškova i indeksa troškova pri fiksnoj cijeni goriva za zrakoplova A320 44
Grafikon 6. Funkcija ukupnih troškova i indeksa troškova pri fiksnim troškovima vremena za zrakoplov A320 45
Grafikon 7. Profil penjenja za zrakoplov Airbus A320 47

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj diplomski 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 diplomskog rada pod naslovom **Upravljanje potrošnjom goriva zrakoplova**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 25.2.2021.

(potpis)