

# Utjecaj promjene atmosferskih uvjeta na letne značajke zrakoplova A320

---

**Valenta, Nikolina**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:127970>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-28**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Nikolina Valenta

UTJECAJ PROMJENE ATMOSFERSKIH UVJETA NA LETNE  
ZNAČAJKE ZRAKOPLOVA A320

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.

Zagreb, 24. ožujka 2020.

Zavod: **Zavod za zračni promet**  
Predmet: **Performanse leta**

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 5942

Pristupnik: **Nikolina Valenta (0130292867)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Zračni promet**

Zadatak: **Utjecaj promjene atmosferskih uvjeta na letne značajke zrakoplova A320**

**Opis zadatka:**

U uvodnim postavkama potrebno je definirati predmet istraživanja, objasniti svrhu i cilj istraživanja, dati osvrt na dosadašnja istraživanja te prikazati strukturu rada. Dati pregled izračuna letnih performansi zrakoplova s mlaznim motorom za sve faze leta - polijetanje, penjanje, krstarenje, poniranje i slijetanje. Prikazati tehničke značajke zrakoplova Airbus A320 u pogledu performansi, dimenzija, masa, verzija, itd. Na temelju rutne analize uporabom programa FlySmart i LIDO na izabranoj ruti promjenom atmosferskih uvjeta, težine zrakoplova, visine leta, brzine, itd. prikazati promjenu performansi razmatranog zrakoplova (potrošnja goriva, dolet, istrajnost, itd.). Izvesti konkretne zaključke o istraživanoj tematici i interpretirati rezultate istraživanja.

**Mentor:**

**Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:**

---

izv. prof. dr. sc. Andrija Vidović

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

UTJECAJ PROMJENE ATMOSFERSKIH UVJETA NA LETNE  
ZNAČAJKE ZRAKOPLOVA A320

IMPACT OF CHANGE IN ATMOSPHERIC CONDITIONS ON  
A320 AIRCRAFT FLIGHT PERFORMANCE

Mentor: izv. prof. dr. sc. Andrija Vidović

Studentica: Nikolina Valenta

JMBAG: 0130292867

Zagreb, rujan 2020.

## Sažetak

Zrakoplov A320 podzvučni je zrakoplov srednjeg doleta. Flota hrvatskog nacionalnog prijevoznika *Croatia Airlines*-a sadrži dva zrakoplova A320-200 s kapacitetom od 174 sjedala. Europska agencija za zrakoplovnu sigurnost (engl. *European Aviation Safety Agency* - EASA) izdaje posebnu regulativu i određuje standarde koje moraju zadovoljavati zrakoplovi koji se koriste u civilnom zrakoplovstvu. U te standarde su uključene i performanse zrakoplova u normalnim i izvandrednim uvjetima. Za sigurno letenje važno je poznavanje performansi i u nestandardnim uvjetima. Letne performase dijele se na faze: polijetanja, penjanja, krstarenja (horizontalni let), poniranja (spuštanja) i slijetanja. Na temelju rutne analize na relaciji Zagreb - Frankfurt (ZAG – FRA) uz pomoć programa *FlySmart* i *LIDO* na zadanoj ruti se promjenom atmosferskih uvjeta, težine zrakoplova, visine leta, brzine, itd. može prikazati promjena performansi danog zrakoplova (potrošnja goriva, vrijeme trajanja leta, itd.).

**KLJUČNE RIJEČI:** zrakoplov A320; performanse; atmosferski uvjeti; *Fly Smart*

## Summary

The A320 is a medium-range subsonic aircraft. The fleet of the Croatian national carrier *Croatia Airlines* contains two A320-200 aircraft with a capacity of 174 seats. The European Aviation Safety Agency (*EASA*) issues special regulations and sets standards that must be met by aircraft used in civil aviation. These standards also include aircraft performance in normal and emergency conditions. Knowledge of performance even in non-standard conditions is important for safe flying. Flight performances are divided into phases: take-off, climbing, cruising (horizontal flight), diving (landing) and landing. Based on the route analysis on the route Zagreb - Frankfurt (ZAG – FRA) with the help of *FlySmart* and *LIDO* on a given route, change in the atmospheric conditions, aircraft weight, flight altitude, speed, etc. can show the change in performance of a given aircraft (fuel consumption, flight duration, etc.).

KEY WORDS: A320 aircraft; performance; atmospheric conditions; *Fly Smart*

## Sadržaj

|   |    |
|---|----|
| 1. Uvod.....  | 1  |
| 2. Teorijska podloga proračuna letnih performansi .....                       | 3  |
| 2.1. Međunarodna standardna atmosfera .....                                   | 3  |
| 2.1.1. Tlak zraka .....   | 7  |
| 2.1.2. Temperatura zraka .....  | 7  |
| 2.1.3. Gustoća zraka.....   | 9  |
| 2.2. Performanse zrakoplova u horizontalnom letu .....                        | 10 |
| 2.2.1. Ustaljena kretanja .....   | 10 |
| 2.2.1.1. Krstarenje (horizontalni let).....                                   | 10 |
| 2.2.1.2. Penjanje .....   | 15 |
| 2.2.1.3. Poniranje (spuštanje).....   | 16 |
| 2.2.2. Neustaljeno kretanje .....   | 17 |
| 2.2.2.1. Polijetanje .....  | 17 |
| 2.2.2.2. Slijetanje .....   | 23 |
| 2.2.3. Uzletno – sletna staza .....   | 25 |
| 3. Općenito o zrakoplovu A320 .....   | 28 |
| 3.1. Zrakoplov A320-214 <i>Croatia Airlines</i> -a .....                      | 29 |
| 3.2. Uravnoteženje i opterećenje zrakoplova .....                             | 33 |
| 4. Opis programa <i>FlySmart</i> i <i>LIDO</i> .....                          | 38 |
| 4.1. <i>FlySmart</i> .....  | 38 |
| 4.1.1. Proračun performansi polijetanja pomoću programa <i>FlySmart</i> ..... | 39 |
| 4.1.2. Proračun performansi slijetanja pomoću programa <i>FlySmart</i> .....  | 45 |
| 4.2. <i>LIDO</i> .....  | 45 |

|   |    |
|---|----|
| 5. Rutna analiza .....  | 47 |
| 5.1. Proračun performansi polijetanja pomoću programa <i>FlySmart</i> na ruti Zagreb – Frankfurt..... | 47 |
| 5.2. Proračun performansi slijetanja pomoću programa <i>FlySmart</i> na ruti Zagreb – Frankfurt.....  | 57 |
| 5.3. Izračun opterećenja i uravnoteženja zrakoplova .....   | 65 |
| 5.4. Proračun putanje leta putem <i>LIDO</i> sustava .....  | 67 |
| 6. Zaključak .....  | 87 |
| Literatura .....  | 89 |
| Popis slika .....   | 90 |
| Popis tablica .....   | 92 |
| Popis grafikona .....   | 93 |
| Popis kratica.....  | 94 |



## 1. Uvod

Zrakoplov A320 uskotrupni je dvomotorni mlazni zrakoplov kratkog do srednjeg doleta. Poznat je kao prvi putnički zrakoplov u koji je ugrađena *fly-by-wire* tehnologija pomoću koje se zrakoplovom upravlja putem elektronskih impulsa. Hrvatski nacionalni zračni prijevoznik *Croatia Airlines* u svojoj floti ima dva zrakoplova A320-214. *FlySmart* sustav uveden je u *Airbus*-ove zrakoplove kako bi se optimizirale operacije zrakoplova te kako bi se došlo do većih ušteda, a sustav *LIDO* proračunava optimalnu rutu leta. Ove tehnologije omogućuju planiranje i praćenje performansi zrakoplova na cijeloj ruti od polazišne do odredišne zračne luke. Za proračun performansi zrakoplova potrebno je još poznavati Međunarodnu standardnu atmosferu (engl. *International Standard Atmosphere* – ISA) te podjelu letnih karakteristika zrakoplova na performanse polijetanja, penjanja, krstarenja, poniranja (planiranja) te slijetanja.

Predmet istraživanja je definiranje letnih karakteristika zrakoplova A320 u svim fazama leta (polijetanje, penjanje, krstarenje, poniranje i slijetanje) te prikaz utjecaja promjene atmosferskih uvjeta na performanse zrakoplova. Svrha istraživanja je prikaz utjecaja nestandardnih uvjeta Međunarodne standardne atmosfere (engl. *International Standard Atmosphere* – ISA) na performanse zrakoplova *Croatia Airlines*-a A320-214 na primjeru izabrane rute Zagreb – Frankfurt (ZAG – FRA) pomoću programa *FlySmart* i *LIDO*. Cilj istraživanja je prikazati utjecaj promjene uvjeta Međunarodne standardne atmosfere (engl. *International Standard Atmosphere* – ISA) na maksimalnu dopuštenu masu zrakoplova pri polijetanju i slijetanju, njegove brzine te promjene potrebne duljine uzletno – sletne staze te prikazati potrošnju goriva na ruti.

Rad je podijeljen u šest poglavlja, kako slijedi:

1. Uvod,
2. Teorijska podloga proračuna letnih performansi,
3. Općenito o zrakoplovu A320,
4. Opis programa *FlySmart* i *LIDO*,

5. Rutna analiza,
6. Zaključak.

U prvom poglavlju, odnosno uvodu, definirani su predmet, svrha i cilj istraživanja te je predočena struktura rada.

Drugo poglavlje prikazuje podjelu Međunarodne standardne atmosfere (engl. *International Standard Atmosphere* – ISA) na troposferu, stratosferu, mezosferu, termosferu i egzosferu. Prikazana je podjela kretanja zrakoplova na ustaljenja i neustaljena kretanja te su opisane faze leta.

Treće poglavlje opisuje karakteristike porodice zrakoplova A320 te karakteristike modela A320-214 koji se nalazi u floti hrvatskog nacionalnog zračnog prijevoznika *Croatia Airlines-a*.

Četvrto poglavlje opisuje programe koji se koriste za proračun putanje leta i performansi zrakoplova - *FlySmart* i *LIDO*.

Peto poglavlje se sastoji od prikaza utjecaja promjene atmosferskih uvjeta na letne performanse zrakoplova A320-214 na konkretnoj ruti Zagreb – Frankfurt na kojoj operira Croatia Airlines uporabom programa *FlySmart* i *LIDO*.

Šesto poglavlje, odnosno zaključak, donosi konkretne zaključke o istraživanoj tematici te interpretaciju rezultata istraživanja.

## 2. Teorijska podloga proračuna letnih performansi

Za proračun letnih performansi zrakoplova potrebno je poznavati Međunarodnu standardnu atmosferu (engl. *International Standard Atmosphere – ISA*) te podjelu letnih karakteristika zrakoplova na performanse polijetanja, penjanja, krstarenja, poniranja (planiranja), čekanja na slijetanje te slijetanja.

### 2.1. Međunarodna standardna atmosfera

Atmosfera je plinoviti omotač kojim su obavijena nebeska tijela, samim time i planet Zemlja. Pod atmosferom se podrazumijeva zrak, odnosno smjesa plinova koja okružuje planet Zemlju i sudjeluje u njezinoj vrtnji. Zrak se sastoji od: dušika (78,08%), kisika (20,95%), argona (0,93%), ugljičnog dioksida (0,03%) i u promjenjivim količinama vodene pare (0 do 4%) te neznatnih količina vodika, helija, ozona, metana, amonijaka, ugljikovog monoksida, kriptona i ksenona. Količina vodene pare mijenja se ovisno o temperaturi, a njezin udio smanjuje se s visinom. Čestice anorganskog (sol, prašina, pepeo) i organskog (pelud, mikrobi) podrijetla nalaze se u najnižim slojevima atmosfere, kao i čađa, olovni, sumporovi i dušikovi spojevi. Ovisno o promjeni temperature zraka atmosfera se može podijeliti u više slojeva: troposfera, stratosfera, mezosfera, termosfera i egzosfera. Podjela atmosfere prikazana je na slici 1.

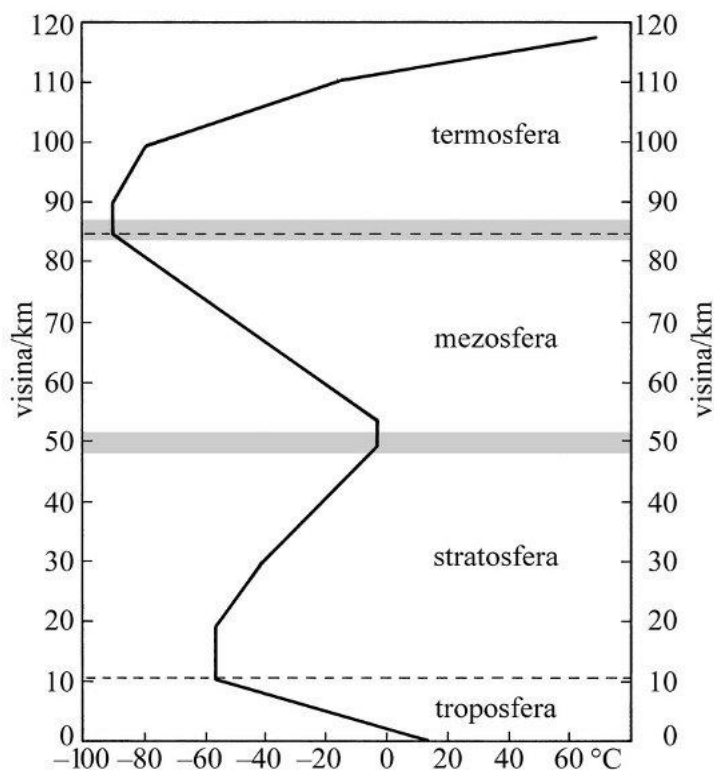
Troposfera je najniži sloj atmosfere u kojem temperature zraka opada u prosjeku 6,5 °C na 1 km. Ovo je najtopliji i najgušći dio atmosfere. Proteže se od 6 km do 8 km na polovima, od 10 km do 12 km u srednjem pojasu te do 18 km od površine Zemlje na ekvatoru. U ovom sloju pojavljuju se oblaci, vjetrovi, oborine i događaju se sve promjene koje čine vrijeme. Zrakoplovi lete u troposferi te njezine atmosferske promjene direktno utječu na letne performanse zrakoplova.

Stratosfera se nastavlja na troposferu sve do 50 km visine. U ovom sloju temperatura u početku lagano raste, a onda ima nagliji porast te na vrhu dostiže vrijednost kao pri tlu. Vjetrovi u stratosferi mogu dosegnuti brzine i do 400 km/h.

Mezosfera je sloj atmosfere između 50 km i 80 km. U ovom sloju temperatura zraka opada s visinom da bi na vrhu sloja dosegla vrijednost od  $-85$  do  $-90$  °C.

Termosfera je sloj atmosfere iznad 80 km pa sve do 500 km. U ovom sloju temperatura raste s visinom. Sloj između 60 km i 400 km naziva se ionosfera zbog postojanja ioniziranih slojeva zraka nastalih djelovanjem ultraljubičastog zračenja, X-zraka te naglih struja elektrona sa Sunca.

Egzosfera je sloj iznad ionosfere do udaljenosti od 9.600 km. Ovo je posljednji sloj atmosfere i predstavlja granicu između Zemlje i Svemira.<sup>1</sup>



**Slika 1:** Podjela atmosfere prema promjeni temperature s visinom

Izvor: Enciklopedija. Preuzeto sa: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=4464> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]

Atmosfera nema na svakom mjestu iste karakteristike. Njezino stanje se mijenja ovisno o klimatskim uvjetima, godišnjem dobu i visini. Upravo iz tog razloga potrebno je

<sup>1</sup> <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=4464> (08.07.2020.)

usvojiti prosječne uvjete koji se nazivaju Međunarodna standardna atmosfera (engl. *International Standard Atmosphere – ISA*). Međunarodna standardna atmosfera atmosferski je model kako se tlak, temperatura i gustoća Zemljine atmosfere mijenjaju na širokom rasponu visina. U Međunarodnoj standardnoj atmosferi nema vlage. Međunarodna organizacija civilnog zrakoplovstva (engl. *International Civil Aviation Organisation - ICAO*) objavila je svoju "ICAO standardnu atmosferu" 1993. godine. Ima isti model kao i ISA, ali proširuje pokrivenost visine na 80 km (262.500 ft). Tablica 1. prikazuje kako u Međunarodnoj standardnoj atmosferi za svaku visinu postoji jedna konstantna vrijednost tlaka, temperature i gustoće. Standardni uvjeti na razini mora (engl. *International Standard Atmosphere/Sea Level - ISA/SL*) su: tlak ( $p$ ) 101.325 Pa, temperatura ( $t$ ) 288,15 K, gustoća ( $\rho$ ) 1,225 kg/m<sup>3</sup>.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> A3F – Aircraft Performance – Flight Planning, predavanja, Croatia Airlines, Zagreb, 2019.

Tablica 1: Karakteristike Međunarodne standardne atmosfere

| H [m] | T [K]  | p [Pa]  | $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ] | a [m/s] | v [m <sup>2</sup> /s] |
|-------|--------|---------|-----------------------------|---------|-----------------------|
| 0     | 288,15 | 101325  | 1,225                       | 340,3   | 1,460E-05             |
| 500   | 284,9  | 95460,1 | 1,1673                      | 338,4   | 1,519E-05             |
| 1000  | 281,65 | 89873,2 | 1,1116                      | 336,4   | 1,582E-05             |
| 1500  | 278,4  | 84554,1 | 1,0580                      | 334,5   | 1,647E-05             |
| 2000  | 275,15 | 79492,7 | 1,0065                      | 332,5   | 1,716E-05             |
| 2500  | 271,9  | 74679,6 | 0,9568                      | 330,6   | 1,789E-05             |
| 3000  | 268,65 | 70105,2 | 0,9091                      | 328,6   | 1,866E-05             |
| 3500  | 265,4  | 65760,4 | 0,8632                      | 326,6   | 1,947E-05             |
| 4000  | 262,15 | 61636,2 | 0,8191                      | 324,6   | 2,033E-05             |
| 4500  | 258,9  | 57724,1 | 0,7767                      | 322,6   | 2,123E-05             |
| 5000  | 255,65 | 54015,4 | 0,7361                      | 320,5   | 2,219E-05             |
| 5500  | 252,4  | 50502,1 | 0,6971                      | 318,5   | 2,321E-05             |
| 6000  | 249,15 | 47176,2 | 0,6596                      | 316,4   | 2,428E-05             |
| 6500  | 245,9  | 44029,9 | 0,6238                      | 314,4   | 2,542E-05             |
| 7000  | 242,65 | 41055,7 | 0,5894                      | 312,3   | 2,663E-05             |
| 7500  | 239,4  | 38246,4 | 0,5566                      | 310,2   | 2,792E-05             |
| 8000  | 236,15 | 35594,7 | 0,5251                      | 308,1   | 2,929E-05             |
| 8500  | 232,9  | 33094   | 0,4950                      | 305,9   | 3,074E-05             |
| 9000  | 229,65 | 30737,4 | 0,4663                      | 303,8   | 3,229E-05             |
| 9500  | 226,4  | 28518,6 | 0,4388                      | 301,6   | 3,394E-05             |
| 10000 | 223,15 | 26431,3 | 0,4126                      | 299,5   | 3,570E-05             |
| 10500 | 219,9  | 24469,5 | 0,3877                      | 297,3   | 3,758E-05             |
| 11000 | 216,65 | 22627,3 | 0,3639                      | 295,1   | 3,958E-05             |
| 11500 | 216,65 | 20916   | 0,3363                      | 295,1   | 4,282E-05             |
| 12000 | 216,65 | 19330,1 | 0,3108                      | 295,1   | 4,634E-05             |
| 13000 | 216,65 | 16509,9 | 0,2655                      | 295,1   | 5,425E-05             |
| 14000 | 216,65 | 14101,2 | 0,2267                      | 295,1   | 6,352E-05             |
| 15000 | 216,65 | 12044,0 | 0,1937                      | 295,1   | 7,437E-05             |
| 16000 | 216,65 | 10286,8 | 0,1654                      | 295,1   | 8,707E-05             |
| 17000 | 216,65 | 8786,0  | 0,1413                      | 295,1   | 1,019E-04             |
| 18000 | 216,65 | 7504    | 0,1207                      | 295,1   | 1,194E-04             |
| 19000 | 216,65 | 6409,4  | 0,1031                      | 295,1   | 1,397E-04             |
| 20000 | 216,65 | 5474,3  | 0,0880                      | 295,1   | 1,636E-04             |

Izvor: Franjković, D., Krajček K.: Teorija leta 1 – Zbirka riješenih zadataka, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2011., str. 134.

### 2.1.1. Tlak zraka

Tlak zraka ( $p$ ) je sila ( $F$ ) kojom neko tijelo djeluje na površinu ( $S$ ) drugog tijela. Tlak je obrnuto proporcionalan površini. Mjerna jedinica za tlak zraka je Paskal (Pa) te se mjeri barometrom. Izračun tlaka zraka odnosno atmosferskog tlaka računa se pomoću formule (1):

$$p = \frac{F}{S} \quad (1)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- $p$  – atmosferski tlak, [*Pascal* – Pa],
- $F$  – sila, [*Newton* – N],
- $S$  – površina na koju djeluje sile, [*kvadratni metar* - m<sup>2</sup>].

Tlak zraka na razini mora (engl. *Sea Level* – SL) iznosi 101.325 Pa. S povećanjem visine tlak zraka se smanjuje. Prema vrijednosti tlaka moguće je procijeniti kakvo će biti vrijeme. Ako je tlak zraka viši, vrijeme će biti stabilno i lijepo, što se povezuje s atmosferskom anticiklonom. Ako je tlak zraka niži, vrijeme će biti nestabilno i lošije, što se povezuje s atmosferskom ciklonom.

Poznavanje mjerenja i trenutnog stanja tlaka zraka od iznimne je važnosti u zrakoplovstvu zbog mjerenja parametara za let zrakoplova (visine, brzine promjene visine i brzine).

### 2.1.2. Temperatura zraka

Temperatura zraka je fizikalna veličina koja varira u najvećem rasponu ovisno o dijelu Zemlje koji se promatra. Ova fizikalna veličina ima najveći utjecaj na sve ostale fizikalne veličine u atmosferi. Visoka temperatura zraka nepovoljno djeluje na motore zbog smanjivanja gustoće zraka te se smanjuje maseni protok zraka kroz motor što posljedično smanjuje potisak motora te produljuje potrebnu duljinu uzletno – sletne staze što dovodi do veće potrošnje goriva. Pri izgradnji uzletno – sletne staze u obzir se

uzima pravilo da se za svaki 1°C iznad referentne temperature potrebna duljina uzletno – sletne staze povećava za 1%. Referentna temperatura je mjesečni prosjek maksimalnih dnevnih temperatura najtoplijeg mjeseca u godini, a određuje se kao srednja vrijednost za određeni broj godina.<sup>3</sup>

Temperatura zraka pada s porastom visine. No postoji i pojava koja se naziva temperaturna inverzija gdje je temperatura zraka viša na većoj visini. Standardna temperatura zraka na razini mora iznosi 15°C i smanjuje se sa svakim metrom visine za -0,0065°C sve do tropopauze. Od sloja atmosfere koji se naziva tropopauza temperatura postaje konstantna s vrijednosti -56,5°C.

Temperatura zraka na srednjoj razini mora (engl. *Mean Sea Level* – MSL) računa se pomoću formule (2):

$$\text{ISA temperatura} = T_0 = +15^\circ\text{C} = 288,15 \text{ K} \quad (2)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- $T_0$  – temperatura na razini mora, [*Kelvin* - K].

Temperatura zraka iznad srednje razine mora (engl. *Mean Sea Level* – MSL) i ispod tropopauze (36.089 ft) računa se pomoću formule (3):

$$\text{ISA temperatura } (^\circ\text{C}) = T_0 - 1,98 \times [\text{visina(ft)}/1000] \quad (3)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- $T_0$  – temperatura na razini mora, [*Kelvin* - K].

Formula (4) koja se može koristiti za brzo određivanje standardne temperature na zadanoj visini leta je:

$$\text{ISA temperatura } (^\circ\text{C}) = 15 - 2 \times [\text{visina(ft)}/1.000] \quad (4)$$

---

<sup>3</sup> Pavlin S. Aerodromi 1. Zagreb: FPZ; 2006., str. 39.



Primjer izračuna temperature zraka: zrakoplov leti na visini od 33.000 ft, a stvarna temperatura zraka je -41°C. Standardna temperatura zraka na 33.000 ft dobije se korištenjem formule (4):  $ISA = 15 - 2 \times 33 = -51^\circ C$ , a stvarna temperatura zraka je -41°C, što znači 10°C iznad standardne temperature zraka. Zaključak ovim brzim izračunom je da zrakoplov leti u ISA+10 uvjetima.<sup>4</sup>

### 2.1.3. Gustoća zraka

Gustoću ( $\rho$ ) neke tvari predstavlja njezina masa u jedinici volumena. Prosječna molarna masa suhog zraka je 28,97 g/mol, a gustoća na razini mora, pri tlaku od 101.325 Pa i temperaturi od 0°C, iznosi 1,295 kg/m<sup>3</sup>, odnosno 1,225 kg/m<sup>3</sup> pri prosječnoj temperaturi na Zemlji (15°C). Kada se pomiješaju zračne mase različitih gustoća, temperature i tlaka nastaje vjetar.<sup>5</sup> Porastom visine eksponencijalno se smanjuje gustoća. Izračun gustoće zraka računa se pomoću formule (5):

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T} \quad (5)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- $\rho$  - gustoća zraka, [*kilogram po metru kubnom* - kg/m<sup>3</sup>],
- $p$  - tlak zraka, [*Pascal* - Pa],
- $R$  - individualna plinska konstanta, [*džul po mol kelvinu* - J/ mol K],  $R = 8,314\ 472$  J/mol K,
- $T$  – temperatura zraka, [*celzijev stupanj* - °C].

Gustoća zraka promjenjiva je s obzirom na različita stanja u atmosferi. Kad je tlak najniži i temperatura visoka onda je gustoća zraka najmanja. Kada je tlak najviši ili temperatura najniža onda je gustoća zraka najviša.<sup>6</sup>

---

<sup>4</sup>Airbus. Getting to Grips with Aircraft Performance. Blagnac: Airbus SE; 2002., str. 12

<sup>5</sup> Enciklopedija. <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=67451> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]

<sup>6</sup> A3F – Aircraft Performance – Flight Planning, predavanja, Croatia Airlines, Zagreb, 2019.

## 2.2. Performanse zrakoplova u horizontalnom letu

Performanse zrakoplova su letne karakteristike zrakoplova. Faze leta za zrakoplov s mlaznim motor su: polijetanje, penjanje, krstarenje, poniranje (spuštanje) i slijetanje. Kretanje zrakoplova u letu može biti ustaljeno i neustaljeno.

### 2.2.1. Ustaljenja kretanja

Ustaljeno kretanje zrakoplova se definira kao kretanje pri kojemu je brzina stalna po veličini i po pravcu. U ovom kretanju nema povećavanja ili smanjivanja brzine tijekom leta zbog čega je smjer kretanja pravocrtan.

Proračun osnovnih letnih osobina zrakoplova sastoji se u određivanju najvećih i najmanjih brzina u horizontalnom letu, brzine penjanja, brzine poniranja, vremenu penjanja i plafona leta.

#### 2.2.1.1. Krstarenje (horizontalni let)

Ustaljeni horizontalni let definira se 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 ( $F_z$ ), sila otpora ( $F_x$ ), težina zrakoplova ( $F_g$ ) i vučna/potisna sila ( $F_t$ ). Navedene sile prikazane su na slici 2. 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:

$$\sum F_z = 0 \qquad \sum M_z = 0$$

$$\sum F_x = 0 \qquad \sum M_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 \qquad \sum M_y = 0$$



**Slika 2:** Sile koje djeluju na zrakoplov u ustaljenom horizontalnom letu

Izvor: Službena stranica Croatia Airlines-a. <https://www.croatiaairlines.com/hr/O-nama/Korporativne-informacije/flota/Airbus-A-320-200/> [Pristupljeno: rujan 2020.]

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

Drugi uvjet horizontalnog leta je da su sila otpora ( $F_x$ ) i vučna/potisna sila ( $F_t$ ) u ravnoteži ( $F_x = F_t$ ). Ukoliko ove dvije sile nisu u ravnoteži pojaviti će se akceleracija ili dekceleracija što će poremetiti odnos sila i momenata. Promjena vučne/potisne sile ( $F_t$ ) izravno utječe na promjenu brzine zrakoplova, a promjena brzine zrakoplova utječe na veličinu sile uzgona ( $F_z$ ).

Izračun brzine zrakoplova potrebne za horizontalni let dobiva se iz jednakosti  $F_z = F_g$  i računa pomoću formule (6):

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot F_g}{\rho \cdot S \cdot c_z}} \quad (6)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- $v$  – brzina zrakoplova u horizontalnom letu, [*metar po sekundi* - m/s],
- $F_g$  – sila težine zrakoplova, [*Newton* - N],
- $\rho$  – gustoća zraka, [*kilogram po metru kubnom* - kg/m<sup>3</sup>],

- $S$  – površina krila, [kvadratni metar -  $m^2$ ],
- $c_z$ - koeficijent uzgona, [bezdimezionalna veličina].

Potrebna brzina za horizontalni let na bilo kojoj visini ovisi o:

- Specifičnom opterećenju krila  $G/S$  [Newton po kvadratnom metru -  $N/m^2$ ] – ukoliko je ovo opterećenje veće potrebna je veća brzina leta,
- Koeficijentu uzgona ( $c_z$ ) koji je ovisan o napadnom kutu – ukoliko je napadni kut veći i uzgon će biti veći,
- Gustoći zraka – ukoliko zrakoplov leti na većoj visini leta potrebna je veća brzina leta,
- Težini zrakoplova – ukoliko je zrakoplov teži ima i veću brzinu leta.

Da bi se realizirala potrebna brzina za ustaljeni horizontalni let potrebna je odgovarajuća vučna sila ili potisak ( $F_t$ ). Prvi uvjet je da su sila otpora ( $F_x$ ) i vučna/potisna sila ( $F_t$ ) u ravnoteži ( $F_x = F_t$ ). Drugi uvjet koji mora biti zadovoljen je da su sila uzgona ( $F_z$ ) i težina zrakoplova ( $F_g$ ) u ravnoteži ( $F_z = F_g$ ). Izračun za potrebnu vučnu silu dobiva se iz prethodnih jednakosti i računa se pomoću formule (7):

$$F_t = \frac{c_x}{c_z} \cdot G = \frac{G}{F} \quad (7)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- $F_t$  – vučna sila ili potisak, [Newton – N],
- $c_x$  - koeficijent otpora, [bezdimezionalna veličina],
- $c_z$ - koeficijent uzgona, [bezdimezionalna veličina],
- $G$  – operativna težina zrakoplova, [Newton - N],
- $F$  - finesa zrakoplova, [bezdimezionalna veličina].

Iz formule (7) zaključuje se da je vučna sila ili potisak ( $F_t$ ) potrebna za ostvarenje horizontalnog leta proporcionalna težini zrakoplova ( $G$ ). Ukoliko je težina zrakoplova ( $G$ ) veća, pri određenom napadnom kutu potrebna je veća sila uzgona, što se dobiva povećanjem brzine, što se može dogoditi povećanjem vučne sile ili potiska ( $F_t$ ).

Potrebna vučna sila ili potisak ( $F_t$ ) obrnuto je proporcionalna finesi ( $F$ ) zrakoplova. Potrebna vučna sila ili potisak ( $F_t$ ) biti će najmanja pri napadnom kutu najveće finese zrakoplova.

Iz poznate vučne sile ( $F_t$ ) za određenu brzinu potrebna snaga određuje se pomoću formule (8):

$$P_p = T_p \cdot v \quad (8)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- $P_p$  – potrebna snaga, [Watt - W],
- $T_p$  – potrebni potisak, [Newton – N],
- $v$  – brzina leta zrakoplova, [metar po sekundi, m/s].

Na horizontalni let utječu visina, težina i vjetar. Jedan od već spomenutih uvjeta za horizontalni let je da sila uzgona ( $F_z$ ) bude jednaka težini zrakoplova ( $G$ ) na svakoj visini leta. Kako se gustoća s visinom smanjuje opada vrijednost sile uzgona ( $F_z$ ). Kako bi se održala ista vrijednost sile na većoj visini potrebno je na istom napadnom kutu i za istu težinu zrakoplova povećati brzinu. Povećanje brzine zahtjeva veću potrebnu snagu ( $P_p$ ) za isti napadni kut, težinu i težinu zrakoplova. Raspoloživa snaga ( $P_r$ ) opada s visinom leta. Kako zrakoplov troši gorivo i samim time mijenja svoju težinu tako da promjena utječe na performanse zrakoplova u horizontalnom letu. Što je zrakoplov teži to je potrebna veća potrebna snaga ( $P_p$ ), vučna sila uzgona ( $F_z$ ) i brzina ( $v$ ). Vjetar koji može utjecati na zrakoplov u horizontalnom letu dijeli se na: čelni (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.

Dolet se definira kao horizontalna projekcija udaljenosti koju zrakoplov preleti s određenom količinom goriva. To je udaljenost koju zrakoplov prijeđe od postizanja

određene visine i udaljenost koju prijeđe u horizontalnom letu. Dolet izravno ovisi o potrošnji goriva te se kod izračuna treba doleta za određeni let zrakoplova treba oduzeti gorivo koje se potroši prije polijetanja, gorivo koje se potroši za slijetanje te pričuva goriva. Na dolet utječu i aerodinamičke značajke zrakoplova, težina zrakoplova i visina leta. Pri proračunu doleta uzima se pretpostavka da je let ustaljen te da je potisak pogonske grupe cijelo vrijeme jednak otporu zrakoplova. No, u letu se zbog konstantne potrošnje goriva masa zrakoplova mijenja. Precizni izračuni doleta dobiju se integriranjem po masi goriva i za dolet i za trajanje leta ili uporabom tablica u kojima se nalaze jednom integrirane vrijednosti za određeni tip zrakoplova. Najveći dolet za mlazni motor računa se pomoću formule (9):

$$D = \frac{1}{c_t} \cdot \frac{\sqrt{c_z}}{c_x} \cdot \sqrt{\frac{8}{\rho \cdot S}} \cdot [\sqrt{G} - \sqrt{G_1}] \quad (9)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- $D$  – dolet, [*metar* - m],
- $c_t$  – specifična potrošnja goriva zrakoplova s mlaznim motorom, [*bezdimezionalna veličina*],
- $c_x$  - koeficijent otpora, [*bezdimezionalna veličina*],
- $c_z$ - koeficijent uzgona, [*bezdimezionalna veličina*],
- $\rho$  – gustoća zraka, [*kilogram po metru kubnom* - kg/m<sup>3</sup>],
- $S$  – površina krila zrakoplova, [*kvadratni metar* - m<sup>2</sup>],
- $G$  – operativna težina zrakoplova, [*Newton* - N],
- $G_1$  – težina zrakoplova umanjena za težinu potrošenog goriva, [*Newton* - N].

Istrajnost odnosno trajanje leta je vrijeme od početka zaleta u polijetanju do završetka horizontalnog dijela leta kojeg zrakoplov ostvari s određenom količinom goriva. Za zrakoplov s mlaznim motorom najduže trajanje leta ostvaruje se na režimu minimalnog potrebnog potiska. Istrajnost zrakoplova za mlazni motor računa se pomoću formule (10):

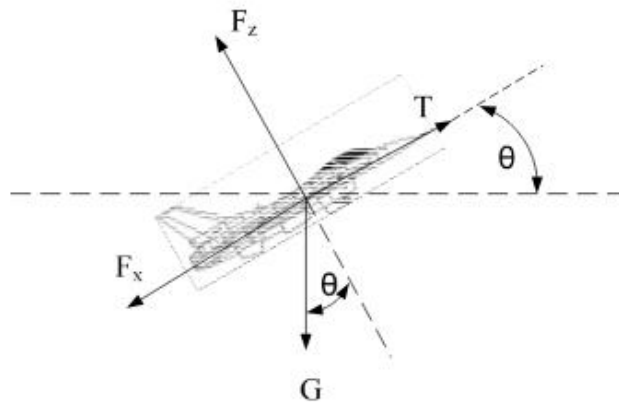
$$I = \frac{1}{c_t} \cdot F_{max} \cdot \ln \frac{G}{G_1} \quad (10)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- $I$  – istrajnost, [sekunda - s],
- $c_t$  – specifična potrošnja goriva zrakoplova s mlaznim motorom, [gram po kilo Newtonu satu - g/kNh],
- $F_{max}$  - maksimalna finesa, [bezdimezionalna veličina],
- $G$  – operativna težina zrakoplova, [Newton - N],
- $G_1$  – težina zrakoplova umanjena za težinu potrošenog goriva, [Newton - N].

### 2.2.1.2. Penjanje

Penjanje se definira kao jednoliko pravocrtno kretanje zrakoplova po penjajućoj ravnini određenom brzinom  $v$ . Kut penjanja  $\Theta$  se definira kao kut koji zatvara smjer leta zrakoplova u odnosu na horizontalnu ravninu. Slika 3. prikazuje sile koje djeluju na zrakoplov u penjanju te kut penjanja.



**Slika 3:** Sile koje djeluju na zrakoplov u penjanju

Izvor: Vidović A. Elementi stabilnosti i upravljivosti zrakoplova. Zagreb: FPZ; 2010., str. 68

Brzina penjanja definira se kao promjena visine leta po jedinici vremena. Brzina penjanja zrakoplova računa se pomoću formule (11):

$$v_p = \frac{P_r - P_p}{G} \quad (11)$$

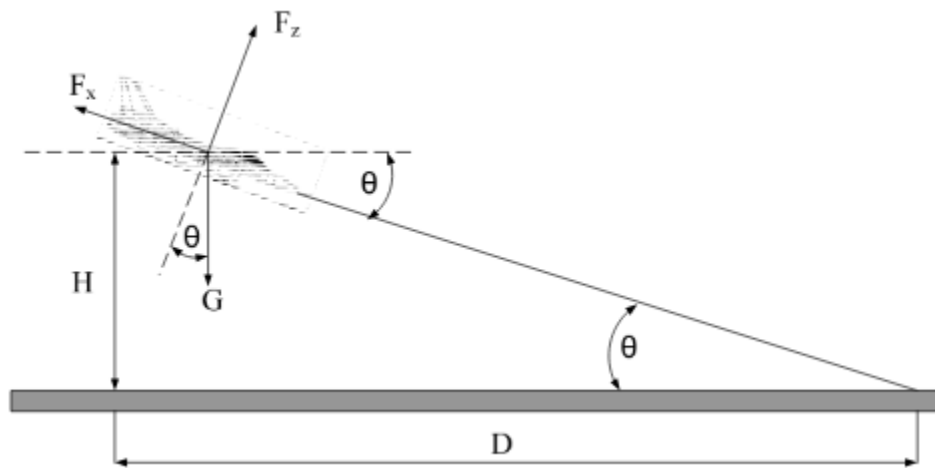
Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- $v_p$  - brzina penjanja [*metar po sekundi* - m/s],
- $P_r$  - raspoloživa snaga, [Watt - W],
- $P_p$  - potrebna snaga, [Watt - W],
- $G$  - operativna težina zrakoplova, [Newton - N].

Razlika između raspoložive i potrebne snage naziva se rezerva snage. Ukoliko nema rezerve snage nema ni penjanja. Najveća brzina penjanja će biti pri najvećoj rezervi snage. Kako raste visina leta tako se smanjuje rezerva snage, a s njom i brzina penjanja. Vrhunac (plafon) leta je visina na kojoj je raspoloživa snaga jednaka potrebnoj snagi ( $P_r = P_p$ ), a brzina penjanja  $v_p = 0$ . Vrhunac leta je najveća visina do koje se zrakoplov penje.

### 2.2.1.3. Poniranje (spuštanje)

Poniranje ili spuštanje se definira kao faza leta u kojoj zrakoplov smanjuje visinu leta od visine krstarenja do visine slijetanja. Zrakoplov u poniranju prikazan je na slici 4.



**Slika 4:** Sile koje djeluju na zrakoplov u poniranju

Izvor: Vidović A. Elementi stabilnosti i upravljivosti zrakoplova. Zagreb: FPZ; 2010., str. 71



Brzina zrakoplova u poniranju računa se pomoću formule (12):

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot \cos\Theta}{c_z \cdot \rho \cdot S}} \quad (12)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- $v$  – brzina zrakoplova u poniranju, [*metar po sekundi* – m/s],
- $G$  - operativna težina zrakoplova, [*Newton* - N],
- $\cos\Theta$  - kut poniranja [*stupanj* - °],
- $c_z$  - koeficijent uzgona, [*bezdimezionalna veličina*],
- $\rho$  – gustoća zraka, [*kilogram po metru kubnom* - kg/m<sup>3</sup>],
- $S$  – površina krila zrakoplova, [*kvadratni metar* - m<sup>2</sup>].

### 2.2.2. Neustaljeno kretanje

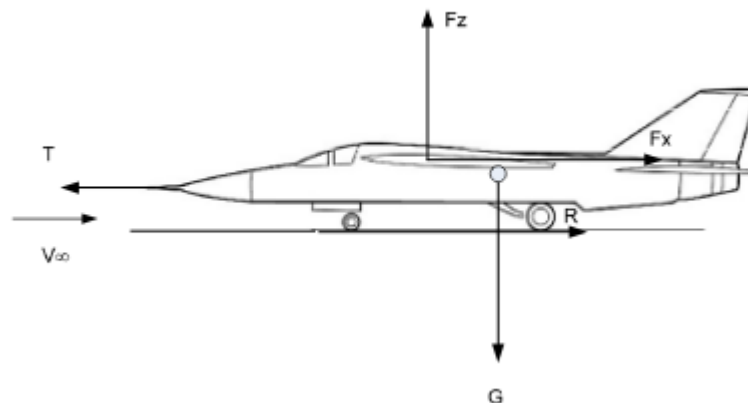
Neustaljeno kretanje definira se kao promjena pravca leta i brzine istovremeno ili promjenom jednog od navedenih elemenata.

#### 2.2.2.1. 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 uzletnoj – sletnoj stazi bez vjetrova su sila težine ( $G$ ), sila potiska ( $F_t$ ), sila trenja između kotača i podloge ( $R$ ), sila uzgona ( $F_z$ ), sila otpora ( $F_x$ ) i sila inercije ( $F_i$ ). Navedene sile prikazane su na slici 5. Za ostvarivanje potrebnog ubrzanja za odvajanje od piste sila potiska  $F_t$  mora biti veća od

zbroja sile trenja između kotača i podloge ( $R$ ), sile otpora ( $F_x$ ) i sile inercije ( $F_i$ ) ( $F_t > R + F_x + F_i$ ), a da bi se realizirao uzlet sila uzgona ( $F_z$ ) mora biti jednaka sili težine ( $G$ ) ( $F_z = G$ ).



**Slika 5:** Sile koje djeluju na zrakoplov u polijetanju

Izvor: Vidović A. Elementi stabilnosti i upravljivosti zrakoplova. Zagreb: FPZ; 2010., str. 73

Brzina polijetanja koja je potrebna za odvajanje zrakoplova od zemlje treba biti za 20% veća od potrebne brzine u horizontalnom letu, te se računa pomoću formule (13):

$$v_{pol} = 1.2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot G}{\rho \cdot S \cdot c_{z \max}}} \quad (13)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- $v_{pol}$  – brzina polijetanja, [metar po sekundi - m/s],
- $G$  - operativna težina zrakoplova, [Newton - N],
- $\rho$  - gustoća zraka, [kilogram po metru kubnom - kg / m<sup>3</sup>],
- $S$  - površina krila zrakoplova, [kvadratni metar - m<sup>2</sup>],

- $c_{z\ max}$ - maksimalna vrijednost koeficijenta uzgona u režimu polijetanja [bezdimezionalna veličina].

Sila otpora ( $F_x$ ) računa se pomoću formule (14), a sila uzgona ( $F_z$ ) pomoću formule (15), dok se redukcijski koeficijent ( $\phi$ ) računa pomoću formule (16):

$$F_x = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{SR}^2 \cdot S \cdot \left[ C_{x_0} + \phi \cdot \frac{C_{z_{MAX}}^2}{\pi \cdot e \cdot \lambda} \right] \quad (14)$$

$$F_z = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{SR}^2 \cdot S \cdot C_{z_{MAX}} \quad (15)$$

$$\phi = \frac{\left( 16 \cdot \frac{h}{b} \right)^2}{1 + \left( 16 \cdot \frac{h}{b} \right)^2} \quad (16)$$

Oznake u formulama imaju sljedeće značenje:

- $F_x$  –sila otpora, [Newton – N],
- $F_z$  - sila uzgona, [Newton – N],
- $\rho$  - gustoća zraka, [*kilogram po metru kubnom*, kg / m<sup>3</sup> ],
- $S$ - površina krila zrakoplova, [*kvadratni metar* - m<sup>2</sup> ],
- $c_{x_0}$  - koeficijent otpora profila, [*bezdimezionalna veličina*],
- $c_{z\ max}$  - maksimalna vrijednost koeficijenta uzgona u režimu polijetanja ili slijetanja, [*bezdimezionalna veličina*],
- $e$ - Oswaldov koeficijent, [*bezdimezionalna veličina*],
- $\lambda$  - odnos kvadrata duljine krila i njegove površine, [*bezdimezionalna veličina*],
- $\phi$  - redukcijski koeficijent, [*bezdimezionalna veličina*],
- $h$  - visina krila iznad površine USS kada je zrakoplov na njoj, [*metar* - m],
- $b$ - raspon krila u [*metar* - m].

Duljina staze koja je potrebna zrakoplovu za polijetanje računa se pomoću formule (17):

$$d_{pol} = \frac{1.44 \cdot G^2}{g \cdot \rho \cdot S \cdot c_{z \max} \cdot (T - (F_x + \mu \cdot (G - F_z)))} \quad (17)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- $d_{pol}$  - duljina staze za polijetanje, [*metar* - m],
- $G$  - operativna težina zrakoplova, [*Newton* - N],
- $g$  – akceleracija sile teže, [*metar po sekundi na kvadrat* – m/s<sup>2</sup>],
- $S$  - površina krila, [*kvadratni metar* - m<sup>2</sup> ],
- $c_{z \max}$ - maksimalna vrijednost koeficijenta uzgona u režimu polijetanja, [*bezdimezionalna veličina*],
- $T$  - raspoloživi potisak mlaznog motora, [*Newton* - N],
- $F_x$  - sila otpora na zrakoplov u polijetanju, [*Newton* - N],
- $\mu$  - koeficijent otpora trenja USS-e za polijetanje, [*bezdimezionalna veličina*],
- $G$  - operativna težina zrakoplova, [*Newton* - N],
- $F_z$  - sila uzgona zrakoplova u režimu polijetanja, [*Newton* - N].

Na polijetanje utječu težina zrakoplova, vjetar, nagib uzletno – sletne staze, stanje površine uzletno – sletne staze, brzina polijetanja, tlak, visina, temperatura i gustoća. Težina zrakoplova ( $G$ ) proporcionalno utječe na brzinu zrakoplova. Na primjeru povećanja težine zrakoplova za 10% vidljivo je da će se brzina zrakoplova povećati za 5%. Vjetar je jedan od najbitnijih čimbenika prilikom polijetanja, može čak i onemogućiti slijetanje. Idealno polijetanje je s čelnim vjetrom. Čelni vjetar pomaže polijetanju i skraćuje potrebnu duljinu zaleta zrakoplova, dok leđni vjetar povećava duljinu zaleta. Na primjeru čelnog vjetra jačine 10% od brzine polijetanja duljina zaleta smanjiti će se za 19%, dok bi leđni vjetar iste jačine povećao duljinu zaleta za 21%. Nagib uzletno – sletne staze može biti penjajući i spuštajući. Ukoliko je uzletno – sletna staza nagnuta u smjeru zaleta zrakoplova skratiti će se duljina zaleta, ukoliko je nagnuta u suprotnom smjeru od smjera zaleta zrakoplova povećati će se duljina zaleta. Pojava vode na uzletno – sletnoj stazi u vrijeme zaleta povećava se duljina zaleta, dok se kod pojave

leda na uzletno – sletnoj stazi duljina zaleta smanjuje. Ukoliko je brzina polijetanja veća od normalne brzine, veća je i duljina zaleta i obrnuto. Gustoća zraka određuje utjecaj tlaka, visine i temperature na polijetanje.<sup>7</sup>

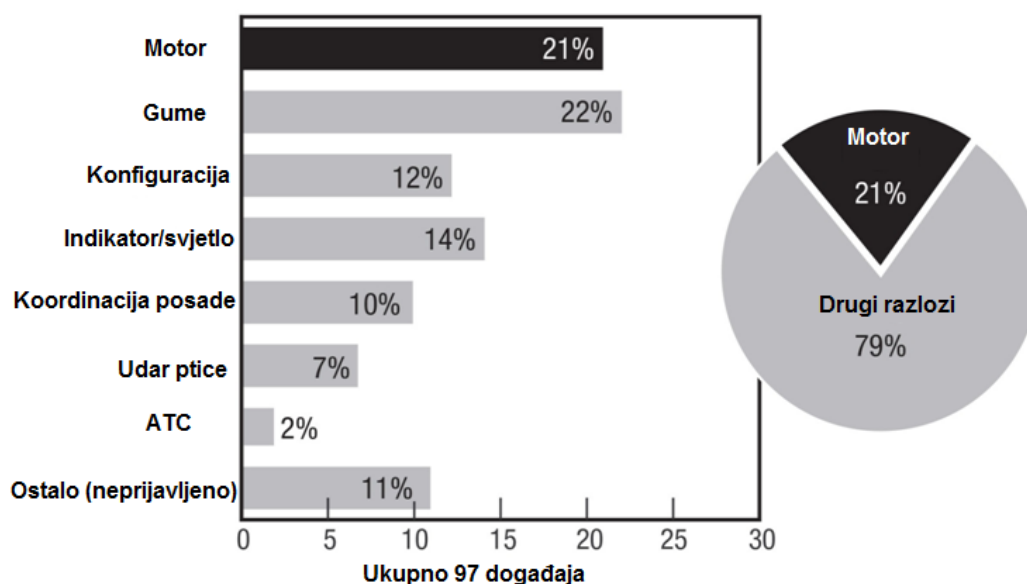
U polijetanju se uvijek u obzir mora uzeti mogućnost otkaza motora (u slučaju zrakoplova A320 jednog ili oba). Prema dokumentu EU OPS/FAR 1.1 kritični motor se definira kao motor čiji bi otkaz najviše negativno utjecao na performanse i upravljivost zrakoplova. Operativne brzine koje se pojavljuju u polijetanju su brzina odluke, brzina pri otkazu motora, brzina rotacije, brzina podizanja i brzina uspona. Kalibrirana zračna

brzina pri kojoj se pretpostavlja da će kritični motor otkazati se označava s  $v_{ef}$  i naziva brzina pri otkazu motora (engl. *Engine Failure Speed*). Maksimalna brzina na kojoj posada može odustati od polijetanja i koja osigurava da će se zrakoplov zaustaviti do kraja uzletno – sletne staze označava se s  $v_1$  i naziva brzinom odluke (engl. *Decision Speed*). Svako uzlijetanje zrakoplova uključuje mogućnost da će pilot morati zaustaviti zrakoplov zbog neplaniranih okolnosti. Analiza odbijenih polijetanja pokazala je da se prekinuto polijetanje događa otprilike jednom na svakih 1800 polijetanja. Prema ovim podacima može se zaključiti da pilot koji leti na dugim rutama bi se trebao susresti s odbijenim polijetanjem samo jednom u 25 godina. Dok pilot koji leti na kraćim rutama se može suočiti s odbijenim polijetanjem svake 4 godine. Grafikon 1. prikazuje najčešće razloge odbijenog polijetanja. U dokumentu EU OPS/FAR 25.107 navodi se da brzina odluke ( $v_1$ ) ne smije biti manja od brzine pri otkazu motora ( $v_{ef}$ ). Više od pola prekoračenja uzletno – sletne staze se statistički događa kada je brzina zrakoplova veća od brzine odluke ( $v_1$ ). Vrijeme koje se uzima u obzir između kritičnog otkaza motora na brzini pri otkazu motora ( $v_{ef}$ ) i reagiranja pilota na brzini odluke ( $v_1$ ) iznosi 1 sekundu. Brzina kojom pilot pokreće rotaciju iznosi oko 3° po sekundi i označava se s  $v_r$  i naziva brzinom rotacije (engl. *Rotation Speed*). Kalibrirana brzina pri kojoj zrakoplov prvi put prelazi u zrak označava se s  $v_{lof}$  i naziva se brzinom podizanja (engl. *Lift – off Speed*). To je brzina pri kojoj sila uzgona ( $F_z$ ) prevladava silu težine ( $G$ ). Minimalna brzina uspona koja se mora ostvariti na visini od 35 ft iznad površine uzletno – sletne staze u slučaju kvara motora označava se s  $v_2$  i naziva brzinom uspona (engl. *Climb*

---

<sup>7</sup> Vidović A. Elementi stabilnosti i upravljivosti zrakoplova. Zagreb: FPZ; 2010., str. 58.-77.

*Speed*). Ograničenja brzine koja se pojavljuju u polijetanju su maksimalna brzina energije kočenja i maksimalna brzina guma. Kada se polijetanje prekine, kočnice zrakoplova moraju apsorbirati toplinu. Kočnice imaju maksimalnu sposobnost apsorpcije koja se naziva maksimalna energija kočenja, ova energija kočenja vrijedi i na starim kočnicama. Brzina pri kojoj se zrakoplov može zaustaviti pri zadanoj težini u polijetanju označava se s  $v_{mbe}$  i naziva maksimalnom brzinom energije kočenja (engl. *Maximum Brake Energy Speed*). Proizvođač guma određuje maksimalnu brzinu koju zrakoplov može postići na tlu kako bi se ograničile centrifugalne sile i povišenja topline koje bi mogle oštetiti gume. Ovo ograničenje se naziva maksimalnom brzinom gume (engl. *Maximum Tire Speed*) i označava s  $v_{tire}$ . Za skoro sve Airbus-ove modele, pa tako i za zrakoplov A320,  $v_{tire}$  iznosi 195 kt.<sup>8</sup>



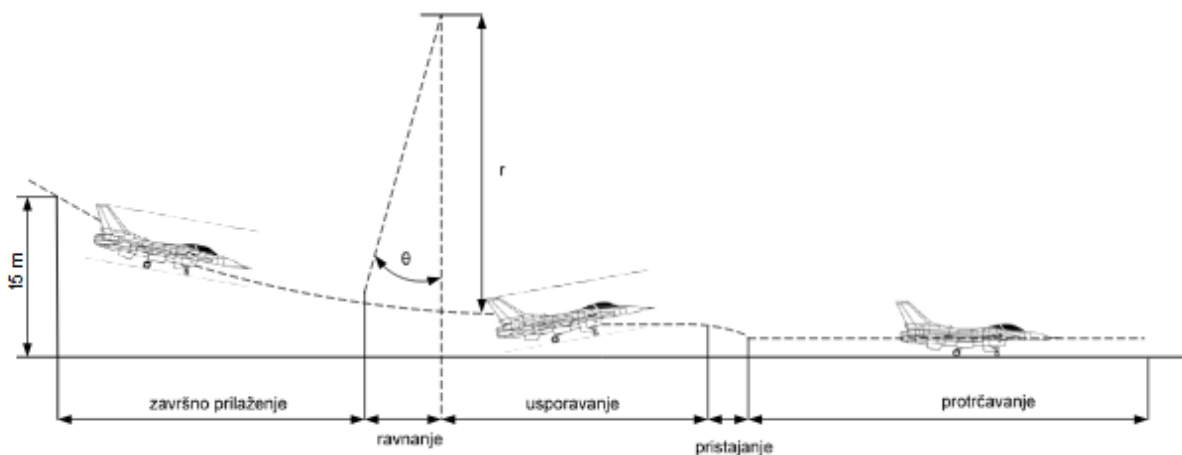
**Grafikon 1: Razlozi odbijenog polijetanja**

Izvor: A3F– Aircraft Performance – Flight Planning, predavanja, Croatia Airlines, Zagreb, 2019.

<sup>8</sup> Airbus. Getting to Grips with Aircraft Performance. Blagnac: Airbus SE; 2002., str. 41.-48.

### 2.2.2.2. 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, ravnjanja tijekom kojeg se zrakoplov dovodi u položaj za slijetanje, usporavanja, pristajanja i vožnje do zaustavljanja. Slika 6. prikazuje svih pet faza slijetanja.



**Slika 6:** Faze slijetanja

Izvor: Vidović A. Elementi stabilnosti i upravljivosti zrakoplova. Zagreb: FPZ; 2010., str. 77

Brzina slijetanja je brzina zrakoplova u trenutku pristajanja. Planiranje za slijetanje se izvodi s izvučenim stajnim trapom i zakrilcima što dovodi do toga da je finesa zrakoplova mala. Brzina slijetanja računa se pomoću formule (18), a sila otpora pomoću formule (19) uz računanje vrijednosti koeficijenta uzgona pomoću formule (20):

$$v_{sl} = 1.3 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot G}{\rho \cdot S \cdot c_{z \max}}} \quad (18)$$

$$F_x = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{sr}^2 \cdot S \cdot c_x \quad (19)$$

$$c_x = c_{x0} + 10\% c_{x0} \quad (20)$$

Oznake u formulama imaju sljedeće značenje:

- $v_{sl}$  – brzina slijetanja, [*metar po sekundi*, m/s],
- $G$  - operativna težina zrakoplova, [*Newton* - N],
- $\rho$  - gustoća zraka, [*kilogram po metro kubnom*, kg/m<sup>3</sup>],
- $S$  - površina krila zrakoplova, [*kvadratni metar* - m<sup>2</sup>],
- $c_{z_{max}}$ - maksimalna vrijednost koeficijenta uzgona u režimu slijetanja [*bezdimezionalna veličina*].
- $F_x$  - sila otpora zrakoplova u slijetanju, [*Newton* - N],
- $v_{sr}$  – brzina slijetanja, [*metar po sekundi*, m/s],
- $c_{x0}$  - koeficijent otpora profila, [*bezdimezionalna veličina*].

Konačna formula (20) za izračun potrebne staze za slijetanje je:

$$D_{SL} = \frac{1.69 \cdot G_1^2}{g \cdot \rho \cdot S \cdot C_{z_{MAX}} \cdot [F_x + \mu_s (G_1 - F_z)]} \quad (21)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- $d_{sl}$ - duljina staze za slijetanje, [*metar* - m],
- $G_1$  - težina zrakoplova pri slijetanju koja je jednaka početnoj operativnoj težini zrakoplova umanjenoj za težinu utrošenog goriva, [*Newton* - N],
- $g$  - akceleracija sile teže, [*metar po sekundi na kvadrat* - m/s<sup>2</sup>],
- $\rho$  - gustoća zraka, [*kilogram po metru kubnom* - kg / m<sup>3</sup>],
- $S$  - površina krila zrakoplova, [*kvadratni metar* - m<sup>2</sup>],
- $C_{z_{MAX}}$  - maksimalna vrijednost koeficijenta uzgona u režimu slijetanja, [*bezdimezionalna veličina*],
- $F_x$  - sila otpora zrakoplova u slijetanju, [*Newton* - N],
- $\mu_s$  - koeficijent otpora trenja USS-e za slijetanje, [*bezdimezionalna veličina*],
- $F_z$  - sila uzgona zrakoplova u režimu slijetanja, [*Newton* - N].



Za skraćivanje potrebne duljine i vremena slijetanja upotrebljavaju se zakrilca, pretkrilca, zračne kočnice na trupu i krilima zrakoplova, kočnice kotača u protrčavanju, motori s kočćim potiskom pri protrčavanju, rakete za usporenje s potiskom u suprotnom smjeru kretanja zrakoplova, zatege i mreže na uzletno – sletnoj stazi ili na nosačima zrakoplova te kočni padobrani.

Čimbenici koji utječu na duljinu i vrijeme slijetanja identični su već ranije navedenima u polijetanju. 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. Nagib uzletno – sletne staze utječe isto kao i u polijetanju zrakoplova.<sup>9</sup>

Operativne brzine u slijetanju su najniža moguća brzina koja se može odabrati, konačna brzina pristupa i referentna brzina. Tijekom svih faza leta, pa tako i slijetanja piloti ne bi trebali odabrati brzinu manju od  $v_{ls}$  (engl. *Lowest Selectable Speed*). Tijekom slijetanja piloti moraju osigurati astabilizirani prilaz s kalibriranom brzinom ne manjom od  $v_{ls}$  do visine od 50 ft iznad odredište zračne luke. Konačna brzina pristupa (engl. *Final Approach Speed*) označava se s  $v_{app}$ , to je brzina zrakoplova tijekom slijetanja, 50 ft iznad uzletno – sletne staze. Pri toj brzini zakrilca su u konfiguraciji za slijetanje, a stalni trap je vani. Za zrakoplov A320 konačna brzina pristupa ( $v_{app}$ ) je jednaka najnižoj brzini koja se može odabrati ( $v_{ls}$ ) uz dodatnu korekciju za vjetar. Korekcija vjetra je ograničena na minimalnih 5 kt, a na maksimalnih 15 kt. U slučaju otkaza sustava u letu, nužde ili izvanrednih okolnosti, izračunavanje performansi slijetanja temelji se na referentnoj brzini (engl. *Reference Speed*) koja ima oznaku  $v_{ref}$ . Referentna brzina ( $v_{ref}$ ) je stabilna brzina prilaza na 50 ft za definiranu konfiguraciju.<sup>10</sup>

### 2.2.3. Uzletno – sletna staza

Uzletno – sletna staza je pravokutna betonska ili asfaltna površina namijenjena za slijetanje i polijetanje zrakoplova. Za utvrđivanje potrebne referentne uzletno – sletne

<sup>9</sup> Vidović A. Elementi stabilnosti i upravljivosti zrakoplova. Zagreb: FPZ; 2010., str. 77.-80.

<sup>10</sup> Airbus. Getting to Grips with Aircraft Performance. Blagnac: Airbus SE; 2002., str. 113.-114.

staze radi se korekcija putem dijagrama proizvođača zrakoplova. Čimbenici koji utječu na korekciju duljine uzletno – sletne staze su fizikalni uvjeti lokacije i fizičke karakteristike i stanja površine staze. Fizikalni uvjeti lokacije su nadmorska visina, temperatura, vlažnost i vjetar. Fizičke karakteristike i stanja površine staze su nagib, karakteristike površine staze i postojanje vode, bljuzgavice i snijega na površini staze. Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo (engl. *International Civil Aviation Agency* – ICAO) propisala je da se duljina uzletno – sletne staze korigira za nadmorsku visinu, temperaturu i nagib. Snijeg i bljuzgavica na uzletno – sletnoj stazi zbog dodatnog otpora pri kretanju zrakoplova također zahtijevaju produljenje uzletno – sletne staze. Zrak s visinom postaje rjeđi te povećanje nadmorske visine povećava potrebnu duljinu uzletno – sletne staze. Referentna duljina uzletno – sletne staze za zrakoplov se povećava za 7% sa svakih 300 m nadmorske visine. Viša temperatura nepovoljno djeluje na motore zrakoplova. Za svaki 1 °C iznad referentne temperature povećava se duljina uzletno – sletne staze za 1%. Referentna temperatura se definira kao mjesečni prosjek maksimalnih dnevnih temperatura najtoplijeg mjeseca u godini. Standardna temperatura na 0 m nadmorske visine iznosi 15 °C i smanjuje se za svaki metar visine za – 0,0065 °C. Ukoliko potrebna korekcija duljine uzletno – sletne staze zbog nadmorske visine i temperature prelazi 35% preporučuje se izrada posebne studije. Vlažnost zraka također utječe na potrebnu duljinu uzletno – sletne staze, ali minimalno, pa nisu definirani uvjeti njezine korekcije. Vjetar može utjecati na potrebnu uzletno – sletnu stazu tako što ju produljuje ili smanjuje. Čeoni vjetar smanjuje duljinu uzletno – sletne staze, dok ju repni produljuje. Vjetar je nestabilan te se zbog toga ne uzima u obzir kod korekcije. Nagib uzletno – sletne staze ima značajan utjecaj pri korekciji, za svakih 1% nagiba duljina uzletno – sletne staze se poveća za 10%. Karakteristike površine staze imaju utjecaja na slijetanje i polijetanje, ali se ne uzimaju u obzir prilikom korekcije. Korekcija uzletno – sletne staze računa se po formuli (22):

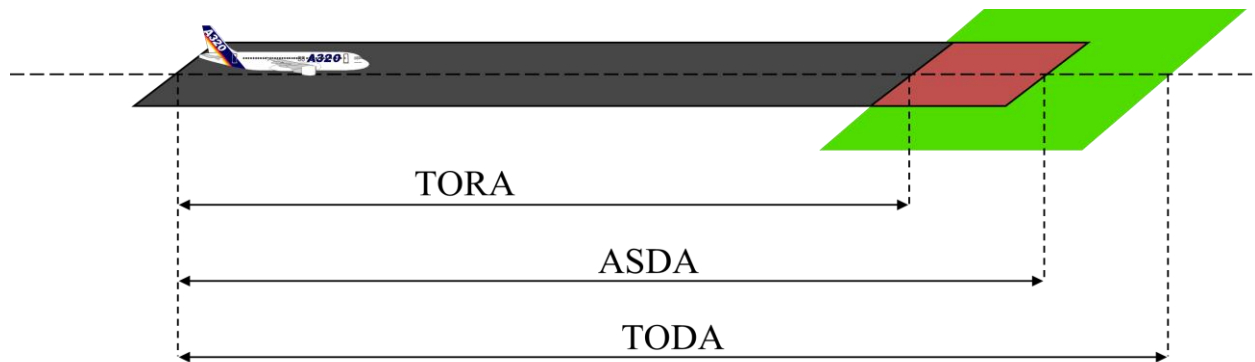
$$D = D_0 \cdot \left(1 + \frac{knv}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{kt}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{kn}{100}\right) \quad (22)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- D – korigirana duljina uzletno – sletne staze, [*metar* – m],
- $D_0$  - referentna duljina uzletno – sletne staze, [*metar* – m],

- $k_{nv}$  - koeficijent korekcije zbog nadmorske visine,  $(7 \cdot \frac{h_{nv}}{300})$ ,
- $k_t$  - koeficijent korekcije zbog temperature,  $(T_{ref} - T_{sa})$ ,
- $k_n$  - koeficijent korekcije zbog nagiba,  $(n \cdot 10)$ .<sup>11</sup>

Objavljene duljine uzletno – sletne staze su raspoloživa duljina za slijetanje (engl. *Landing Distance Available – LDA*), raspoloživa duljina za zalet (engl. *Take-Off Run Available – TORA*), raspoloživa duljina za ubrzanje i zaustavljanje (engl. *Accelerate Stop Distance Available – ASDA*) i raspoloživa duljina za uzlijetanje (engl. *Take-Off Distance Available – TODA*). Slika 7. prikazuje navedene duljine. TORA (engl. *Take-Off Run Available – TORA*), predstavlja duljinu uzletno – sletne staze, ASDA (engl. *Accelerate Stop Distance Available – ASDA*) predstavlja duljinu uzletno – sletne staze uvećane za zaustavnu stazu (engl. *Stopway – SWY*), TODA (engl. *Take-Off Distance Available – TODA*) predstavlja uzletno – sletnu stazu uvećanu za čistinu (engl. *Clearway – CWY*), a LDA (engl. *Landing Distance Available – LDA*) predstavlja duljinu kada se od uzletno – sletne staze oduzme duljina pomaknutog praga. Kada uzletno – sletna staza nema SWY (engl. *Stopway – SWY*) ili CWY (engl. *Clearway – CWY*), a prag se nalazi na samom kraju uzletno – sletne staze, četiri objavljene duljine su jednake.<sup>12</sup>



**Slika 7: Uzletno - sletna staza**

Izvor: CTN. A3F - Aircraft Performance – Flight Planning, Zagreb, 2019.

<sup>11</sup> Pavlin S. Aerodromi 2. Zagreb: FPZ; 2014., str. 18.-19.

<sup>12</sup> CTN. A3F - Aircraft Performance – Flight Planning, Zagreb, 2019.

### 3. Općenito o zrakoplovu A320

Europska zrakoplovna kompanija *Airbus S.A.S.* osnovana je 1970. godine kao *Airbus Industrie*. Sjedište tvrtke je u Toulouseu u Francuskoj. *Airbus* se na tržištu uskotrupnih mlaznih zrakoplova pojavio 1988. godine s dotad najmodernijim zrakoplovom A320. Najveća prednost koju *Airbus* kao kompanija nudi nad svojim konkurentima je ta što su svi zrakoplovi jedne porodice gotovo tehnološki identični što pruža značajne financijske uštede u održavanju zrakoplova, školovanju letačkog osoblja te planiranja posada. Primjer su A320 i A320neo koji su 95% identični. Porodicu zrakoplova A320 čine: A318, A319, A320 i A321. U tablici 2. prikazane su osnovne značajke zrakoplova iz porodice. Sva četiri zrakoplova imaju dva motora, istu ekonomičnu brzinu krstarenja, raspon krila i širinu trupa, dok se ostale karakteristike razlikuju. Zrakoplovi porodice A320 su uskotrupni dvomotorni mlazni zrakoplovi kratkog do srednjeg doleta.<sup>13</sup>

**Tablica 2: Značajke zrakoplova porodice A320**

| Inačica                         | A318                                     | A319                                      | A320                                       | A321                                       |
|---------------------------------|--|---|--|--|
| Pogon                           | dva 96-106 kN<br>CFM56-5 ili PW<br>6000A | dva 98-120 kN<br>CFM56-5 ili IAE<br>V2500 | dva 111-120 kN<br>CFM56-5 ili IAE<br>V2500 | dva 133-147 kN<br>CFM56-5 ili IAE<br>V2500 |
| Ekonomična<br>brzina krstarenja | 840 km/h                                 |   |  |  |
| Dolet<br>(maksimalni<br>dolet)  | 2.700 km<br>(5.950 km)                   | 3.350 km<br>(6.800 km)                    | 4.800 km<br>(5.700 km)                     | 4.352 km<br>(5.600 km)                     |
| MTOW                            | 68 t                                     | 75,5 t                                    | 77 t                                       | 93,5 t                                     |
| Raspon krila                    | 34,10 m                                  |   |  |  |
| Duljina                         | 31,45 m                                  | 33,84 m                                   | 37,57 m                                    | 44,51 m                                    |
| Visina repa                     | 12,56 m                                  | 11,76 m                                   |  |  |
| Širina trupa                    | 3,95 m                                   |   |  |  |
| Duljina kabine                  | 21,38 m                                  | 23,78 m                                   | 27,51 m                                    | 34,44 m                                    |
| Kapacitet                       | 107-117                                  | 124-142                                   | 150-179                                    | 185  |

Izvor: Radačić Ž, Suić I, Škurla Babić R. Tehnologija zračnog prometa 1. Zagreb: FPZ; 2008., str.82.

<sup>13</sup> Radačić Ž, Suić I, Škurla Babić R. Tehnologija zračnog prometa 1. Zagreb: FPZ; 2008., str. 82.

### 3.1. Zrakoplov A320-214 Croatia Airlines-a

Proizvodnja zrakoplova A320 započela je u ožujku 1984. godine, dok je prvi let bio 22. veljače 1987. godine. Do danas je isporučeno oko 8.100 zrakoplova A320 obitelji, a još je oko 6.500 zrakoplova je naručeno i čeka na isporuku. Hrvatski nacionalni prijevoznik *Croatia Airlines* u svojoj floti ima dva zrakoplova A320-214. Prvi registracije 9A – CTJ i imena Dubrovnik uključen je u promet 18. lipnja 1999. godine, dok je drugi registracije 9A – CTK i imena Split uključen u promet 9. lipnja 2000. godine.<sup>14</sup> Zrakoplov Split prikazan je na slici 8.



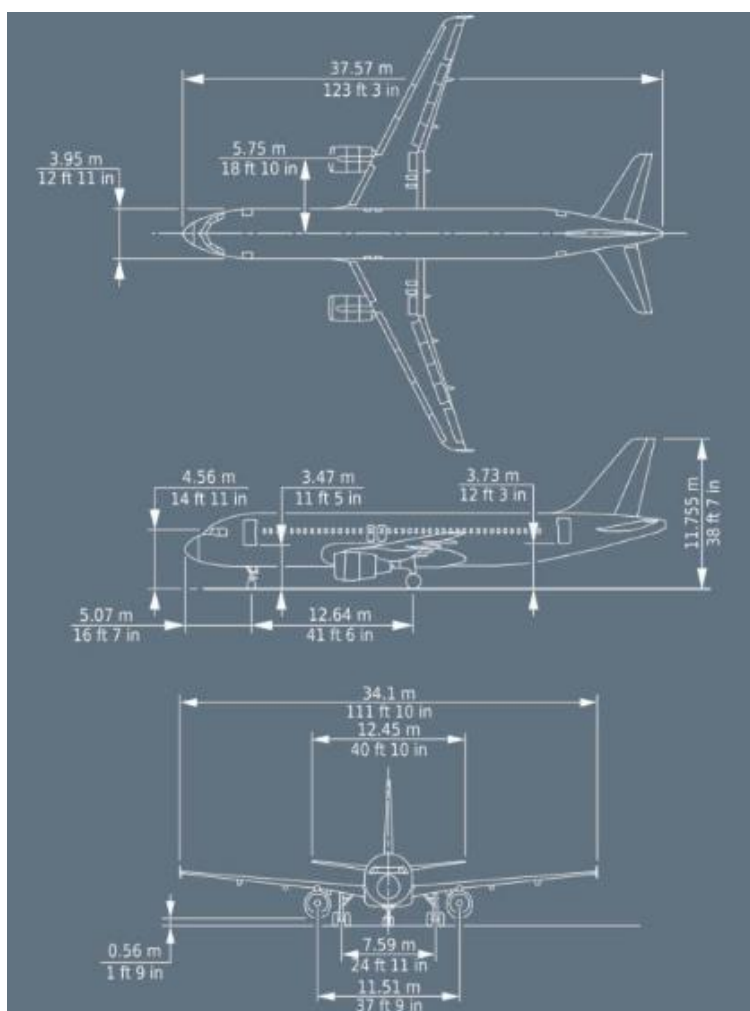
**Slika 8:** Zrakoplov A320

Izvor: Portal Avioradar. <https://avioradar.hr/index.php/hr/hrvatska/2243-povijesni-let-croatia-airlinesa-ctn-leti-za-kinu> [Pristupljeno: rujan 2020.]

Zrakoplovi *Croatia Airlines* A320-214 (CTJ 1009, CTK 1237) imaju dva mlazna motora CFM56-5B4. Motor ima jedan ventilatorski stupa.]nj prije usisnika, trostupanjski niskotlačni i devetstupanjski visokotlačni kompresor, prstenastu komoru za izgaranje, jednostupanjsku visokotlačnu i četverostupanjsku niskotlačnu turbine. Opremljen je FADEC (engl. *Full Authority Digital Engine Control*) sustavom za kontrolu rada motora.

<sup>14</sup> Službena stranica Croatia Airlines-a. <https://www.croatiaairlines.com/hr/O-nama/Korporativne-informacije/flota/Airbus-A-320-200/> [Pristupljeno: rujan 2020.]

Maksimalni nazivni potisak motora iznosi 111.200 N, a maksimalni kontinuirani potisak iznosi 105.400 N. Najveća brzina letim je 864 km/h, dok je najveća visina leta 11.920 m. Dolet ovog zrakoplova je 4.800 km što ga svrstava u zrakoplove kratkog do srednjeg doleta. Najveća dopuštena težina u uzlijetanju (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW) iznosi 77.000 kg ili 73.500 kg. Najveća dopuštena težina pri slijetanju (engl. *Maximum Landing Weight* – MLW) iznosi 64.500 kg. Površina krila iznosi mu 122,40 m<sup>2</sup>, dok je duljina trupa 37,57 m, a raspon krila 34,10 m.<sup>15</sup> Slika 9. prikazuje tlocrt, bokocrt i nacrt zrakoplova A320 s pripadajućim dimenzijama.



**Slika 9:** Tlocrt, bokocrt i nacrt zrakoplova A320

Izvor: CTN. A318/A319/A320/A321 FLEET FCOM, Zagreb, 2020.

<sup>15</sup> A3F – Aircraft Performance – Flight Planning, predavanja, Croatia Airlines, Zagreb, 2019.

Zrakoplov A320-214 Croatia Airlines-a ima 174 sjedala u konfiguraciji 3x3. Ima 30 redova koji se dijele u poslovni razred i ekonomski razred. Širina sjedala je 50 cm i maksimalni nagib je 7 cm.<sup>16</sup> Kokpit je dizajniran za dva člana posade (kapetan i kopilot) i ima dva opservacijska mjesta (engl. *jump seat*).<sup>17</sup> Konfiguracija putničke kabine prikazana je na slici 10.



**Slika 9:** Putnička kabina zrakoplova A320-214

Izvor: Službena stranica Croatia Airlines-a. <https://www.croatiaairlines.com/hr/O-nama/Korporativne-informacije/flota/Airbus-A-320-200/> [Pristupljeno: rujan 2020.]

Svi zrakoplovi porodice A320, pa tako i sam A320-214, imaju jedinstvene cargo pretince (engl. *Cargo Loading System* – CLS). Zrakoplov A320 je jedini uskotrupni zrakoplov koji ima mogućnost utovara paleta i kontejnera na donju palubu. Teretna vrata oba kargo prostora se otvaraju prema van te je presjek teretnog prostora velik, što maksimizira korisni teret i ubrzava utovar.<sup>18</sup> Tablica 3. prikazuje nosivost prtljažnih odjeljaka zrakoplova A320.

**Tablica 3:** Nosivost prtljažnih odjeljaka zrakoplova A320

|                                     | Odjeljak 1 | Odjeljak 3 i 4 |       | Odjeljak 5 |
|-------------------------------------|------------|----------------|-------|------------|
| Maksimalna nosivost [kg]            | 3.402      | 2.268          | 2.268 | 1.497      |
| Podna nosivost [kg/m <sup>3</sup> ] | 488        | 488            |       | 732        |
| Volumen [m <sup>3</sup> ]           | 13,2       | 9,7            |       | 5,88       |

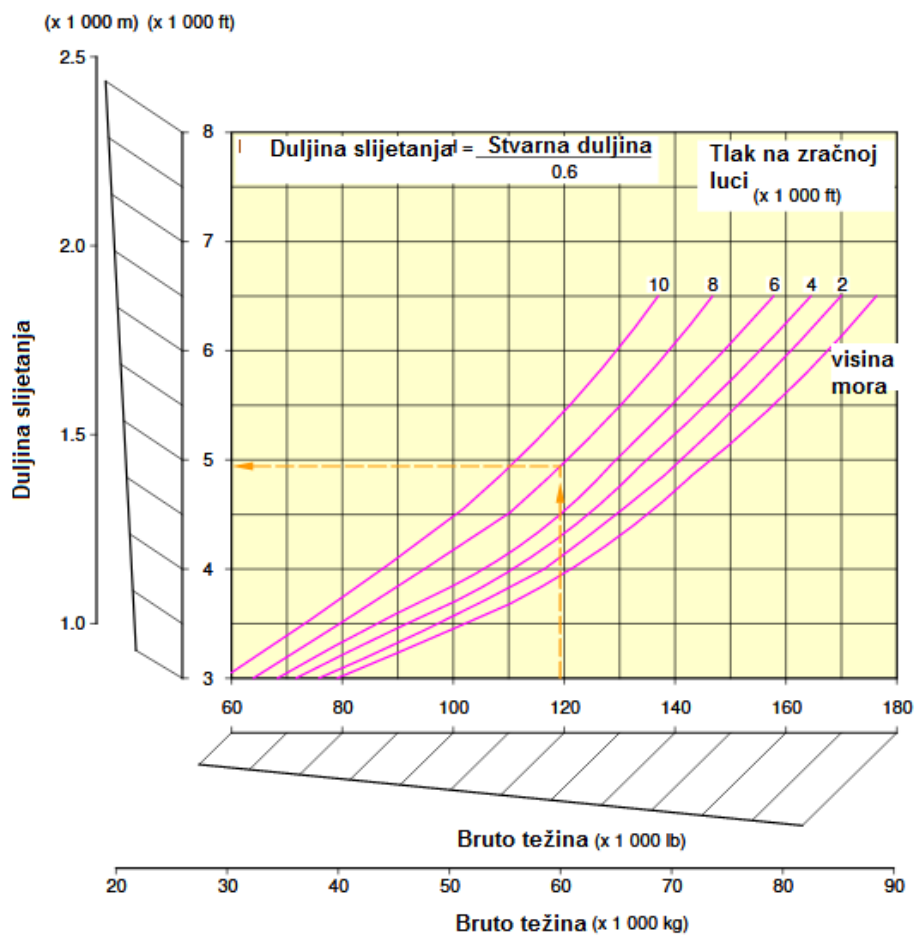
Izvor: CTN. A318/A319/A320/A321 FLEET FCOM, Zagreb, 2020.

<sup>16</sup> Službena stranica Croatia Airlines-a. <https://www.croatiaairlines.com/hr/O-nama/Korporativne-informacije/flota/Airbus-A-320-200/> [Pristupljeno: rujan 2020.]

<sup>17</sup> CTN. A318/A319/A320/A321 FLEET FCOM, Zagreb, 2020.

<sup>18</sup> Službena stranica Airbus-a. <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a320-family.html> [Pristupljeno: rujan 2020.]

Ukoliko je maksimalna težina zrakoplova pri polijetanju (engl. *Maximum Take-Off Weight* - MTOW) manja ili jednaka 73.500 kg, zrakoplov A320-214 pripada u skupinu 3C prema ICAO aerodromskim referentnim kodovima, ukoliko je masa zrakoplova pri polijetanju veća od 73.500 kg, zrakoplov A320-214 pripada u kategoriju 4C. Broj 3 označava potrebnu duljinu uzletno – sletne staze od 1.200 m do 1.800 m, broj 4 označava potrebnu duljinu uzletno – sletne staze od 1.800 m i više. Slovo C označava zrakoplov raspona krila od 24 m do 36 m te razmaka vanjskih kotača od 6 m do 9 m. Grafikon 2. prikazuje potrebnu duljinu uzletno – sletne staze za zrakoplov A320-214 u uvjetima Međunarodne standardne atmosfere (engl. *International Standard Atmosphere* – ISA). Kako se povećava težina zrakoplova, tako se povećava i potrebna duljina polijetanja i slijetanja.



**Grafikon 2:** Potrebna duljina uzletno - sletne staze za A320-214 u ISA uvjetima

Izvor: CTN. A320 – Aircraft Characteristics – Airport and Maintenance Planning, Zagreb, 2020.



Završna brzina prilaza definira se kao brzina na pragu u konfiguraciji slijetanja pri maksimalnoj dozvoljenoj težini pri slijetanju (engl. *Maximum Landing Weight* – MLW) u standardnim atmosferskim uvjetima. Prilazna brzina koristi se za klasifikaciju zrakoplova u određenu kategoriju na temelju brzine naznačene na pragu uzletno – sletne staze. Zrakoplov A320-214 s završnom brzinom prilaza od 136 kt te maksimalnom dozvoljenom težinom pri slijetanju od 64.500 kg pripada u kategoriju C.<sup>19</sup>

### 3.2. Uravnoteženje i opterećenje zrakoplova

Suha operativna težina zrakoplova (engl. *Dry Operation Weight* – DOW) se definira kao sva težina zrakoplova osim goriva i tereta. Uključuje potpuno opremljen zrakoplov, opremu za servis hrane i pića (engl. *catering*), posadu s prtljagom, piće, hranu, novine, pitku vodu i toaletne tekućine. Suhi operativni index (engl. *Dry Operating Index* – DOI) se definira kao težište pri suhoj operativnoj težini zrakoplova te je izražen kao vrijednost indexa. Za zrakoplov A320-214 suhi operativni index se računa pomoću formule (23):

$$DOI = \frac{DOW \cdot (C.G.H_{arm} - 18,85)}{1000} \cdot 50 \quad (23)$$

Oznake u formuli imaju sljedeće značenje:

- DOI – suhi operativni index, [bezdimezionalna veličina],
- DOW - suha operativna težina, [*Newton* - N],
- C. G. H<sub>arm</sub> - udaljenost do centra gravitacije, [*metar* - m].

Svaki put kada konfiguracija zrakoplova A320-214 odstupa od standardne konfiguracije, suha operativna težina te suhi operativni index moraju se ispraviti. Na primjeru je to kada ima manje ili više cateringa nego standardno. Kako bi se DOW ispravio koristi se tablica u kojoj su navedene vrijednosti DOI-a, te se vrijednost devijacije u kilogramima oduzima ili dodaje na standardnu DOW vrijednost. Isti postupak se radi i za ispravak DOI vrijednosti. Vrijednosti korekcije prikazane su u tablici 4. *Croatia Airlines* koristi standardne težine za letačku i kabinsku posadu i njihovu

<sup>19</sup> CTN. A320 – Aircraft Characteristics – Airport and Maintenance Planning, Zagreb, 2020.

prtljagu. Standardna masa za svakog člana letачke posade (kapetan, kopilot) je 96 kg, a za člana kabinske posade 86 kg. U ove težine uračunata je i prtljaga od 11 kg. Za putnike se također koristi standardna masa u koju je uračunata težina kabinske prtljage. Za predanu prtljagu koriste se stvarne mase vagane tijekom predaje prtljage na check-in-u. Za potrebne planiranja leta mogu se uzeti vrijednosti za predanu prtljagu od 11 kg po putniku za domaće letove i 13 kg po putniku za međunarodne letove. Standardna masa putnika ovisi o spolu i dobi. Za muške osobe uzima se težina od 88 kg, za ženske 70 kg, za djecu 35 kg, dok se mala djeca (engl. *infants*) ne uzimaju u izračun.

**Tablica 4: Tablica za korekciju DOW, DOI**

| Pozicija                 | Vrijednosti index-a za A320-214     |
|--------------------------|-------------------------------------|
| Članovi posade           | Kapetan i kopilot -1,2/osoba dodati |
|                          | Posada (FWD) -0,9/osoba dodati      |
|                          | Posada (AFT) +1,0/osoba dodati      |
| XCR na putničkom sjedalu | Kabina 0A -0,6                      |
|                          | Kabina 0B +0,1                      |
|                          | Kabina 0C +0,7                      |
| Kokpit                   | -1,3/100kg dodati                   |
| Kabina 0A                | -0,7/100kg dodati                   |
| Kabina 0B                | +0,1/100kg dodati                   |
| Kabina 0C                | +0,8/100kg dodati                   |
| Zona D                   | -1,2/100kg dodati                   |
| Zona F                   | +1,4/100kg dodati                   |
| Kargo odjeljak 1         | -0,7/100kg dodati                   |
| Kargo odjeljak 3         | +0,4/100kg dodati                   |
| Kargo odjeljak 4         | +0,7/100kg dodati                   |
| Kargo odjeljak 5         | +1,1/100kg dodati                   |

Izvor: CTN. Operations Manual Part B., Chapters 0-12 Aircraft Operating Matters, ISSUE II, Revision No.27, Zagreb, 2020.

Operativni limiti na listi za izračun opterećenja i uravnoteženja (engl. *Load Trim Sheet – LTS*) su restriktivniji od certificiranih limita da bi se uključila margina za DOW kalkulacijsku pogrešku, pogrešku u rasporedu putnika u putničkoj kabini, pogreške kod raspodjele tereta i goriva. Punjenje zrakoplova gorivom i potrošnja goriva rezultira u pomicanju položaja centra gravitacije zrakoplova. Korekcijski index goriva (engl. *Fuel Index Correction Table*) nalazi se u tablici 5. i pomaže odrediti pomicanje centra gravitacije zrakoplova zbog goriva, jer zrakoplov A320-214 ima strelasta krila u kojima je smješteno gorivo i njegovom potrošnjom u letu dolazi do pomaka centra gravitacije. Kalkulacija korekcijskog index-a goriva bazirana je na gustoći goriva od 0,79 kg/l.

**Tablica 5: Vrijednosti korekcijskog index-a**

| Gorivo (kg) | Index |
|-------------|-------|
| 3500        | 1,2   |
| 4000        | 0,7   |
| 4500        | 0,2   |
| 5000        | -0,3  |
| 5500        | -0,7  |
| 6000        | -1,2  |
| 6500        | -1,6  |
| 7000        | -1,9  |
| 7500        | -2,3  |
| 8000        | -2,7  |
| 8500        | -2,9  |
| 9000        | -3,2  |
| 9500        | -3,3  |
| 10000       | -3,3  |
| 10500       | -3,2  |
| 11000       | -2,9  |
| 11500       | -2,5  |
| 12000       | -2,0  |
| 12500       | -1,5  |
| 13000       | -2,2  |
| 13500       | -2,8  |
| 14000       | -3,5  |
| 14500       | -4,3  |
| 15000       | -5,1  |
| 15500       | -5,9  |

Izvor: CTN. Operations Manual Part B., Chapters 0-12 Aircraft Operating Matters, ISSUE II, Revision No.27, Zagreb, 2020.

Izračun opterećenja i uravnoteženja zrakoplova obavlja se na formularu koji se sastoji od dijela za izračun opterećenja (engl. *Load-Sheet*), dijela za izračun uravnoteženja (engl. *Trim-Sheet*) i dijela za unos podataka o opterećenju zrakoplova (engl. *Load-Message*). Slika Load and Trim Sheet-a za zrakoplov A320-214 Croatia Airlines-a prikazana je na slici 10. Izračun opterećenja i uravnoteženja zrakoplova pokazuje utjecaj distribucije tereta na centar gravitacije zrakoplova. Služi da bi se osiguralo sigurno polijetanje. Različite mase putnika, prtljage i tereta te njihov raspored po putničkoj kabini i teretnim odjeljcima odrediti će položaj centra gravitacije zrakoplova. Baza za izračun centra gravitacije zrakoplova je suhi operativni index (engl. *Dry Operating Index - DOI*). Na envelopi koja se nalazi na formularu za izračun opterećenja i uravnoteženja nalazi se maksimalni raspon centra gravitacije, odnosno težišta. Sigurnosni limiti moraju biti zadovoljeni te se ne smije dopustiti da centar gravitacije pri polijetanju i tijekom leta prelazi sigurnosnu envelopu.

The image shows a complex form titled "LOAD & TRIM SHEET" for A320-214 Croatia Airlines. It includes several key sections:

- Flight Information:** Fields for flight number (e.g., 44), origin (ZAG), destination (ZAD), and aircraft type (A320).
- Weight Calculations:** A grid for calculating weights, including "ZERO FUEL WEIGHT" (9), "TANKS OFF FUEL" (10), "OPERATING WEIGHT" (11), "ZERO FUEL" (12), "TANKS OFF FUEL" (13), "OPERATING WEIGHT" (14), "ALLOWED WEIGHT FOR TAKE OFF" (15), "ALLOWED WEIGHT FOR TAKE OFF (LIMIT OF A, B, & C)" (16), "OPERATING WEIGHT" (11), and "ALLOWED TRAFFIC LOAD" (17).
- Pax Distribution Table:** A table with columns for "Number of PAX" (M, F, CH, INF) and "DISTRIBUTION WEIGHT" (1, 3, 4, 5, 8, C, M). It includes rows for "TH" (22), "TB" (23), "TC" (24), "TM" (25), "TF" (26), "TT" (27), "TTH" (28), "TTB" (29), "TTC" (30), "TTM" (31), "TTF" (32), and "TTT" (33).
- Cargo and Cabin Layout:** A diagram of the aircraft cabin and cargo hold with "INDEX CORRECTION ZONES" (44) and "INDEX CORRECTION" (48) arrows. It lists zones for "CARGO 1-4", "CABIN 1-4", and "CARGO 5".
- Center of Gravity Envelope:** A graph (49) plotting "INDEX" (20-100) on the x-axis against "AIRCRAFT WEIGHT (KGS)" (30-80) on the y-axis. It shows a shaded "OPERATING LIMITS" area and a "LIMIT OF A, B, & C" boundary.
- Additional Data:** Fields for "TOTAL PASSENGER WEIGHT" (34), "TOTAL TRAFFIC LOAD" (35), "TOTAL PASSENGER WEIGHT" (36), "TOTAL TRAFFIC LOAD" (37), "TOTAL PASSENGER WEIGHT" (38), "TOTAL TRAFFIC LOAD" (39), "TOTAL PASSENGER WEIGHT" (40), "TOTAL TRAFFIC LOAD" (41), "TOTAL PASSENGER WEIGHT" (42), and "TOTAL TRAFFIC LOAD" (43).

Slika 10: Load and Trim Sheet za A320-214 Croatia Airlines-a

Izvor: CTN. Operations Manual Part B., Chapters 0-12 Aircraft Operating Matters, ISSUE II, Revision No.27, Zagreb, 2020.

Ručno ispunjavanje formulara za uravnoteženje i opterećenje zrakoplova u današnje vrijeme radi se samo u slučajevima nužde, kada na primjer sustav za automatski izračun nije u funkciji. Elektronički izračun uravnoteženja i opterećenja (engl. *Electronic Data Process Load Sheet* – EDP) računa se prije polijetanja zrakoplova kako mi se dogodilo što manje promjena. U slučaju promjena radi se korekcija. Ukoliko promjena u masi zrakoplova iznosi do 300 kg za zrakoplov A320-214 nije potreban novi izračun uravnoteženja i opterećenja. Ukoliko su promjene u masi između 300 kg i 900 kg radi se korekcija težine i položaja centra gravitacije na istom formularu za uravnoteženje i opterećenja zrakoplova. Ukoliko je promjena mase zrakoplova veća od 900 kg izrađuje se potpuno novi izračun uravnoteženja i opterećenja zrakoplova. Pri punjenju zrakoplova gorivom uvijek dolazi do razlike između količine goriva koja je zatražena i stvarne količine goriva kojom je napunjen zrakoplov. Postupak reguliranja goriva za polijetanje (engl. *Take-Off Fuel Adjustment* – TOF) radi se prema pravilima korekcije. Ukoliko je razlika manja od 200 kg nema potrebe za korekcijom izračuna uravnoteženja i opterećenja zrakoplova. Ukoliko je razlika više od 200 kg potrebno je izraditi novi izračun uravnoteženja i opterećenja zrakoplova.<sup>20</sup>

---

<sup>20</sup> CTN. Operations Manual Part B., Chapters 0-12 Aircraft Operating Matters, ISSUE II, Revision No.27, Zagreb, 2020.

## 4. Opis programa *FlySmart* i *LIDO*

Hrvatski nacionalni zračni prijevoznik *Croatia Airlines* za proračun putanje leta i performansi zrakoplova Airbus koristi između ostaloga software i hardware programe *FlySmart* i *LIDO*. Ovi programi pridonose optimiziranom iskorištenju zrakoplova s minimaliziranjem troškova.

### 4.1. *FlySmart*

Airbus-ov program *FlySmart* nudi elektronička rješenja za veće uštede i poboljšane operacije zrakoplova. *FlySmart* je skup *hardvera* i *softvera* koji se koriste u zrakoplovu za optimiziranje operacija. Dio je Airbus-ovog EFB-a (engl. *Electronic Flight Bag*) paketa. Program je dostupan za sve Airbus-ove zrakoplove s tehnologijom *fly-by-wire*. Zrakoplov A320 prvi je zrakoplov obitelji A320, ali i prvi linijski putnički zrakoplov u koji je ugrađen *fly-by-wire* (FBW) 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.

Piloti imaju mogućnost planiranja cijelog leta od polazišne do odredišne zračne luke na siguran i efikasan način. S novim sustavom broj informacija koje se prikazuju je sveden na neophodne informacije. Kada avionika detektira događaj za koji je potrebno obavijestiti pilota na tabletu, uz pomoć sustava *FlySmart*, prikazuju se samo potrebne informacije iz FCOM-a (engl. *Flight Crew Operating Manual*) i priručnika MEL (engl. *Minimum Equipment List*). Simultano uz korištenje *FlySmart*-a mogu se koristiti i druge potrebne aplikacije. Kapetan i kopilot imaju mogućnost usporedbe zadataka i rezultata.

Prednosti *FlySmart*-a, osim ušteda i poboljšanih operacija, su poboljšanje sigurnosti pri operiranju zrakoplova sa MEL-CDL zahtjevima, poboljšanje točnosti tehničkih podataka, smanjenje vremena otpreme zrakoplova. Omogućuje modifikacije podataka u zadnji tren (na primjer promjenu duljine uzletno – sletne staze, meteoroloških uvjeta,...)

što dovodi do smanjenja kašnjenja zrakoplova. Može povećati maksimalnu težinu u polijetanju (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW) do 1.000 kg u odnosu na stare tablične izračune (engl. *Runway Weight Chart* - RWC) zbog točnosti i preciznosti izračuna. Produžuje eksploatacijski vijek trajanja pogonske grupe (motora) zbog korištenja optimalnih temperature pri polijetanju (engl. *Flex Take-Off*) što smanjuje troškove održavanja samih motora. Jednostavno unošenje podataka i standardizirani izgled sučelja smanjuje mogućnost pogreške u odnosu na papirologiju.<sup>21</sup>

*Croatia Airlines* počela je s uvođenjem sustava *FlySmart* u svoja dva zrakoplova A320-214 2019. godine, sustav je u funkciji na zrakoplovima od 2020. godine. Cilj uvođenja ovog sustava su veće uštede, smanjenje papirologije te veća sigurnost i optimizacija operacija.

#### 4.1.1. Proračun performansi polijetanja pomoću programa *FlySmart*

Program *FlySmart* omogućuje optimalne performanse zrakoplova prilikom polijetanja na temelju najnovijih aerodromskih podataka. Podatci o aerodromima se moraju redovito ažurirati. Proračun u jednom programu daje točnije podatke o slijetanju u usporedbi s proračunom u više tablica i programa. *FlySmart* omogućuje optimiziranu primjenu smanjene sile potiska ( $F_t$ ) u polijetanju i povećane maksimalne težine u polijetanju (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW).

Prije kalkulacije u program je potrebno unijeti vanjske parameter. Za polijetanje je potrebno unijeti duljine zaustavne staze (engl. *Stopway* – SWY) i čistine (engl. *Clearway* – CWY) ukoliko postoje na uzletno – sletnoj stazi.

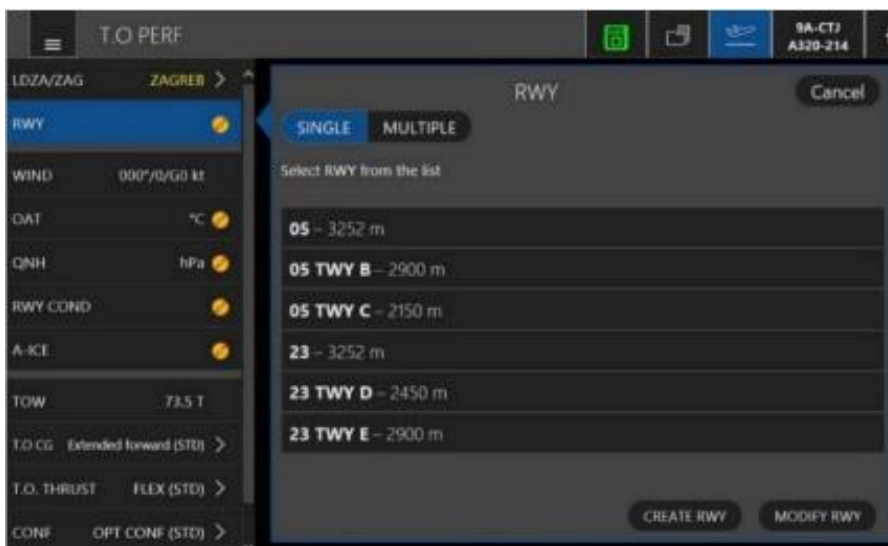
Polazišna zračna luka odabire se iz Flight Ops statusa za proračune performansi polijetanja. Obavezno se koristi četveroslovni ICAO (engl. *International Civil Aviation Organisation* – ICAO) aerodromski kod. Na primjeru Međunarodne zračne luke Zagreb – Franjo Tuđman, oznaka koda je LDZA, dok je za zračnu luku Frankfurt oznaka koda EDDF. Nakon odabira polazišne zračne luke sučelje otvara popis uzletno – sletnih staza te se u slučaju zračne luke s više uzletno – sletnih staza nudi odabir. Slika 11. prikazuje

---

<sup>21</sup> Airbus. *FlySmart with Airbus*, Blagnac, 2019.



sučelje za odabir uzletno – sletne staze na primjeru Međunarodne zračne luke Zagreb koja ima jednu uzletno – sletnu stazu i četiri vozne staze. Pripadajuće dimenzije staza su navedene u metrima.

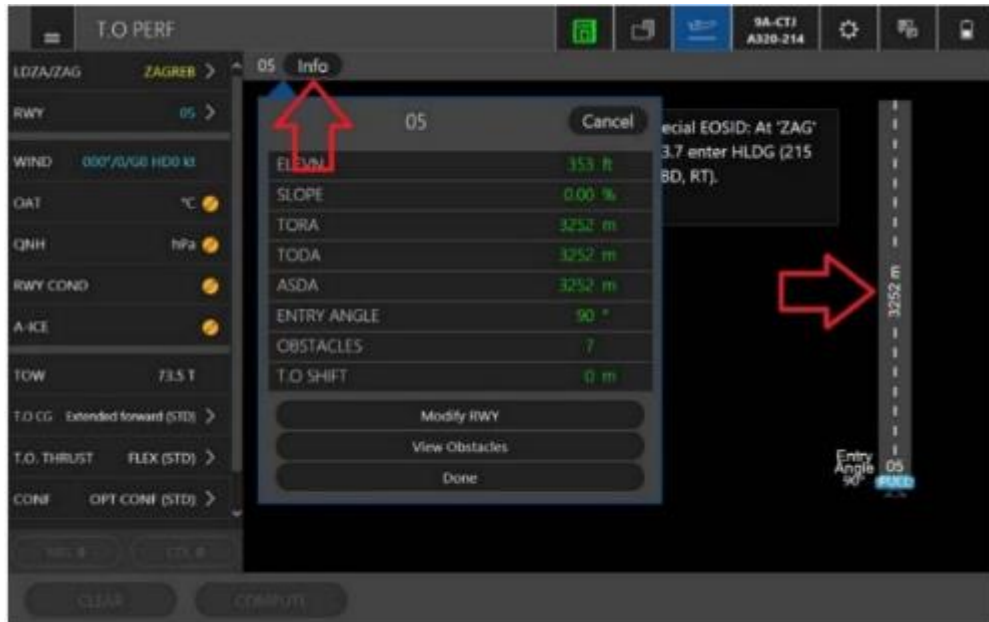


**Slika 11:** FlySmart sučelje za odabir uzletno - sletne staze

Izvor: CTN. Operations Manual Part B., Chapters 0-12 Aircraft Operating Matters, ISSUE II, Revision No.27, Zagreb, 2020.

Nakon odabira uzletno – sletne staze prikazuju se karakteristike staze koje se sastoje od veličine dostupne uzletno – sletne staze za polijetanje (engl. *Take-Off Runway Available* – TORA), raspoložive duljine za uzlijetanje (engl. *Take-Off Distance Available* – TODA), raspoložive duljine za ubrzanje i zaustavljanje (engl. *Accelerate Stop Distance Available* – ASDA), visine uzletno – sletne staze, ulaznog kuta, broja prepreka i pomaka uzlijetanja. Sučelje je prikazano na slici 12. Na odabranoj uzletno – sletnoj stazi mogu se prilagoditi njezine karakteristike, kapetan ili kopilot mogu smanjiti duljinu od početka ili kraja uzletno – sletne staze, također mogu dodati prepreke. Sve karakteristike koje se mijenjaju u sustavu moraju biti u skladu s NOTAM-om (engl. *Notice To Airman*) ili relevantnim dokumentima. Svaka prilagodba uzletno – sletne staze ostaje zabilježena u sustavu te se prilagođene vrijednosti prikazuju plavom bojom. Ukoliko polazišna zračna luka nije navedena u bazi podataka, kapetan ili kopilot prilagođavaju uzletno – sletnu stazu bilo koje zračne luke koja se nalazi u bazi podataka.





**Slika 12:** FlySmart sučelje koje prikazuje odabranu uzletno - sletnu stazu

Izvor: CTN. Operations Manual Part B., Chapters 0-12 Aircraft Operating Matters, ISSUE II, Revision No.27, Zagreb, 2020.

Detaljne informacije o preprekama, njihova udaljenost od početka ili kraja uzletno – sletne staze i visina, prikazane su na novom sučelju koje je prikazano na slici 13.

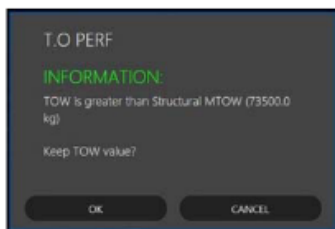


**Slika 13:** FlySmart sučelje koje prikazuje prepreke

Izvor: CTN. Operations Manual Part B., Chapters 0-12 Aircraft Operating Matters, ISSUE II, Revision No.27, Zagreb, 2020.

U *FlySmart* program potrebno je unijeti trenutne meteorološke uvjete. Najvažnija komponenta je unos vjetra, unose se vrijednosti za čelni vjetar (engl. *Headwind* – HD) ili repni vjetar (engl. *Tailwind* –TL). Na prikazu uzletno – sletne staze prikazuje se strelica s numeričkom oznakom koja prikazuje smjer vjetra i njegovu brzinu u odnosu na odabranu uzletno – sletnu stazu. Zbog limitacije Standariziranih računalnih performansi zrakoplova (engl. *Standardized Computerised Aircraft Performance* – SCAP) sustav može raditi proračune samo s komponentama vjetra do 40 kt, a kako je maksimalna vrijednost čelnog vjetra za polijetanje 50 kt, za slučajeve između 40 kt i 50 kt, preostala vrijednost neće se koristiti u proračunu. Unosi se vanjska temperatura zraka (engl. *Outside Air Temperature* – OAT) za polazišnu zračnu luku kao i trenutni tlak zraka na razini mora (engl. *Sea Level Pressure* - QNH). Maksimalne i minimalne operative vrijednosti temperatura su usklađene sa vrijednostima za koje je zrakoplov A320-214 certificiran. Odstupanje od Međunarodne standardne atmosfere (engl. *International Standard Atmosphere* - ISA) automatski se proračunava. Dostupan je popis stanja površine uzletno – sletne staze na izbor.

Idući korak je unošenje težine zrakoplova koja će biti korištena za proračune. Mora se unijeti stvarna težina pri polijetanju zrakoplova ili maksimalna težina pri polijetanju (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW), za izračun planiranja iskoristivosti leta. Moguće je unijeti težinu zrakoplova koja je veća od maksimalne dopuštene težine pri polijetanju pri čemu program daje upozorenje, koje je prikazano na slici 14., da je težina zrakoplova pri polijetanju veća od MTOW koja za A320-214 iznosi 73.500 kg., a može se koristiti za eventualne izračune utjecaja MEL-CDL uvjeta na zrakoplovu.



**Slika 14:** *FlySmart* sučelje s upozorenjem

Izvor: CTN. Operations Manual Part B., Chapters 0-12 Aircraft Operating Matters, ISSUE II, Revision No.27, Zagreb, 2020.

Nakon proračuna *FlySmart* nudi optimalnu konfiguraciju predkrilaca i zakrilaca za polijetanje. Prilikom ove konfiguracije polijetanja ukoliko je polijetanje limitirano performansama zrakoplova, automatski se maksimiziraju performanse maksimalne dopuštene težine pri polijetanju (engl. *Maximum Take-Off Weight* - MTOW). Ukoliko polijetanje nije limitirano performansama i fleksibilno polijetanje (engl. Flex take off) je dostupno, program maksimizira temperature kako bi se smanjilo trošenje pogonske grupe (motora).

Rezultati proračuna prikazani su na slikama 15., 16. i 17.



**Slika 15:** *FlySmart* sučelje s rezultatima proračuna

Izvor: CTN. Operations Manual Part B., Chapters 0-12 Aircraft Operating Matters, ISSUE II, Revision No.27, Zagreb, 2020.



**Slika 16:** FlySmart sučelje s rezultatima proračuna

Izvor: CTN. Operations Manual Part B., Chapters 0-12 Aircraft Operating Matters, ISSUE II, Revision No.27, Zagreb, 2020.

| Parameter   | Value |
|-------------|-------|
| V2          | 146   |
| VR          | 142   |
| V1          | 142   |
| MTOW        | 70000 |
| ASDMEANV1   | 2249  |
| TOR         | 1653  |
| TOD         | 1875  |
| ASD         | 2249  |
| MIN_ACC_ALT | 1167  |
| MAX_ACC_ALT | 3463  |

**Slika 17:** FlySmart sučelje s rezultatima proračuna

Izvor: CTN. Operations Manual Part B., Chapters 0-12 Aircraft Operating Matters, ISSUE II, Revision No.27, Zagreb, 2020.

Svi navedeni proračuni rađeni su za zrakoplov 9A-CTJ Hrvatskog nacionalnog prijevoznika Croatia Airlines, tip zrakoplova je A320-214.

#### 4.1.2. Proračun performansi slijetanja pomoću programa *FlySmart*

Program *FlySmart* za operacije slijetanja koristi se tijekom pripreme leta za određivanje maksimalne dopuštene težine zrakoplova u slijetanju (engl. *Maximum Landing Weight* – MLW) na određenoj zračnoj luci (izračun engl. *Required Landing Distance* - RLD). Koristi se i tijekom leta za određivanje potrebne duljine uzletno – sletne staze za slijetanje u odnosu na težinu zrakoplova prilikom slijetanja (izračun engl. *Actual Landing Distance* - ALD).

Postupak izbora određene zračne luke, uzletno – sletne staze i unosa vanjskih meteoroloških uvjeta isti je kao i kod proračuna polijetanja.

Kapetan ili kopilot u sustav unose težine zrakoplova pri slijetanju (engl. *Landing Weight* – LW). Težina zrakoplova pri slijetanju ne smije biti veća od (engl. *Maximum Landing Weight* - MLW). Sustav dopušta izbor načina kočenja tijekom deceleracije prilikom slijetanja (engl. *Braking Mode* – BRK MODE).

Nakon proračuna *FlySmart* nudi optimalnu konfiguraciju za slijetanje koja dopušta slijetanje zrakoplova s unesenom težinom pri slijetanju (engl. *Landing Weight* – LW) te mogućnost izbora najkraće potrebne duljine uzletno – sletne staze. Prilaz se nudi između normalnog prilaza (CAT I) i CAT II prilaza. Prilazna brzina (engl. *Approach Speed* –  $v_{app}$ ) definirana je u odnosu na vjetar i stanje površine uzletno - sletne staze.

Zbog sigurnosnih razloga postoji mogućnost korištenja *FlySmart* programa prije polijetanja kako bi program proračunao unesene podatke u svrhu utjecaja stanja opreme zrakoplova (MEL-CDL). Ukoliko slijetanje po zadanim parametrima nije moguće sustav će obavijestiti korisnika.<sup>22</sup>

#### 4.2. LIDO

Program *LIDO Flight Planning Services* (FPLS) je software koji daje najpouzdanije i najtočnije rješenje za planiranje određenog leta. Automatski

---

<sup>22</sup> CTN. Operations Manual Part B., Chapters 0-12 Aircraft Operating Matters, ISSUE II, Revision No.27, Zagreb, 2020.

proračunava najpouzdanije rute. U sustav se unese raspored letova, plaćeni teret (payload) i operativni uvjeti leta. Zadaća ovog sustava je da proračuna najefektivniju rutu po trošku, gorivu i vremenu. Za optimizaciju *LIDO FPLS* se oslanja se na algoritme. Najvažnije prednosti korištenja ovog sustava su pouzdani operativni planovi leta, smanjeni operativni troškovi, jednostavan pristup putem Interneta te jednostavno korištenje.<sup>23</sup> Prijevoznik *Croatia Airlines LIDO* sustav koristi na način da unose podatke u sučelje sustava koji se zatim putem VPN veze šalju u sjedište prijevoznika *Lufthansa* u Frankfurtu koje radi proračun. Nakon što program provjeri sve podatke i utvrdi da je let moguće izvesti sa zadanim parametrima, putem zaštićene Internetske veze šalje se gotov proračun. *LIDO* program u izračunu prikazuje rutu leta od polazišne do odredišne zračne luke s alternativnim zračnim rutama te podacima o potrošnji goriva i preostaloj duljini rute.

---

<sup>23</sup> Službena stranica LHS Sistema. <https://www.lhsystems.com/solutions-services/operations-solutions/lidoflightplanning/lidofpls> [Pristupljeno: rujan 2020.]

## 5. Rutna analiza

Rutna analiza napravljena je na primjeru rute Zagreb – Frankfurt (ZAG – FRA) s zrakoplovom A320-214 (9A – CTJ) pomoću programa *FlySmart* i *LIDO*.

### 5.1. Proračun performansi polijetanja pomoću programa *FlySmart* na ruti Zagreb – Frankfurt

Proračun performansi polijetanja rađen je za uvjete Međunarodne standardne atmosfere (engl. *International Standard Atmosphere - ISA*), pri kojima nema vjetra, vanjska temperatura zraka (engl. *Outside Air Temperature – OAT*) iznosi 15°C (ISA +1), a trenutni tlak zraka na zračnoj luci iznosi (engl. *Sea Level Pressure – QNH*) 1.013 hPa. Sustav protiv zaleđivanja (engl. A – ICE) je ugašen, masa zrakoplova u polijetanju (engl. *Take-Off Weight – TOW*) iznosi 73.500 kg te je klimatizacija zrakoplova (engl. AIR COND) uključena. Prikaz svih naprijed nabrojanih uvijeta na sučelju programa *FlySmart* može se vidjeti na slici 18. Proračun je temeljen na polijetanju s smjera 04 uzletno – sletne staze Međunarodne zračne luke Zagreb – LDZA/ZAG. Maksimalna brzina na kojoj posada može odustati od polijetanja i koja osigurava da će se zrakoplov zaustaviti do kraja uzletno – sletne staze označava se s  $v_1$  i naziva brzinom odluke (engl. *Decision Speed*) te prema proračunu iznosi 146 kt. Brzina uspona koja se mora ostvariti na visini od 35 ft iznad površine uzletno – sletne staze u slučaju kvara jednog motora označava se s  $v_2$  i naziva brzinom uspona (engl. *Climb Speed*) i iznosi 149 kt. Brzina kojom pilot pokreće rotaciju označava se s  $v_r$  i naziva brzinom rotacije (engl. *Rotation Speed*) i iznosi 146 kt. Proračunata maksimalna masa zrakoplova u polijetanju je (engl. *Maximum Take-Off Weight – MTOW*) 77.300 kg. Potrebna duljina uzletno – sletne staze za zaustavljanje zrakoplova iznosi 2.693 metara.



**Slika 18:** FlySmart sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb na temelju ISA uvjeta

Izvor: FlySmart Software Croatia Airlines-a

Ukoliko svi prethodno navedeni uvjeti ostanu isti uz dodani repni vjetar (engl. *Tail Wind* – TL) od 10 kt promjena u maksimalnoj dopuštenoj masi za polijetanje iznosi (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW) 2.900 kg manje. Brzina uspona (engl. *Climb Speed*) povećala se za 1 kt. Potrebna duljina uzletno – sletne staze za zaustavljanje zrakoplova iznosi 2.771 metara. Izračun je prikazan na slici 19.





**Slika 19:** FlySmart sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb na temelju uvjeta s repnim vjetrom

Izvor: FlySmart Software Croatia Airlines-a

Ukoliko svi prethodno navedeni uvjeti ostanu isti uz dodani čeon vjetar (engl. *Head Wind* – HD) od 10 kt promjena u maksimalnoj dopuštenoj masi za polijetanje iznosi (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW) 600 kg više zbog čeonog vjetra koji olakšava polijetanje. Brzina uspona (engl. *Climb Speed*) i brzina odluke (engl. *Decision Speed*) povećale su se za 1 kt, dok se brzinom uspona (engl. *Climb Speed*) povećala za 3 kt. Potrebna duljina uzletno – sletne staze za zaustavljanje zrakoplova iznosi 2.637 metara. Izračun je prikazan na slici 20.



**Slika 20:** FlySmart sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb na temelju uvjeta s leđnim vjetrom

Izvor: FlySmart Software Croatia Airlines-a

Ukoliko svi prethodno navedeni uvjeti ostanu isti uz promjenu vanjske temperature zraka (engl. *Outside Air Temperature* - OAT) na 35 °C (ISA +21) promjena u maksimalnoj dopuštenoj masi za polijetanje iznosi (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW) 1.200 kg manje. Viša temperatura zraka smanjuje maksimalnu dopuštenu masu za polijetanje (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW). Potrebna duljina uzletno – sletne staze za zaustavljanje zrakoplova iznosi 2.693 metara. Brzine su ostale iste kao i pri standardnim uvjetima. Proračun je prikazan na slici 21.



**Slika 21:** FlySmart sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb uz uvjet OAT 35 °C

Izvor: FlySmart Software Croatia Airlines-a

Ukoliko svi prethodno navedeni uvjeti ostanu isti uz promjenu vanjske temperature zraka (engl. *Outside Air Temperature* - OAT) na -10 °C (ISA -24) promjena u maksimalnoj dopuštenoj masi za polijetanje iznosi (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW) 1.300 kg više. Niža temperatura zraka povećava maksimalnu dopuštenu masu za polijetnja (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW). Potrebna duljina uzletno – sletne staze za zaustavljanje zrakoplova iznosi 2.693 metara. Brzina su ostale iste kao i pri standardnim uvjetima. Proračun je prikazan na slici 22.



**Slika 22:** FlySmart sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb uz uvjet OAT -10 °C

Izvor: FlySmart Software Croatia Airlines-a

Ukoliko svi prethodno navedeni uvjeti ostanu isti uz promjenu trenutnog tlaka zraka na zračnoj luci (engl. *Sea Level Pressure* - QNH) na 1.025 hPa promjena u maksimalnoj dopuštenoj masi za polijetanje iznosi (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW) 400 kg više. Veći tlak zraka znači veću gustoću zraka što dovodi do boljih performansi. Potrebna duljina uzletno – sletne staze za zaustavljanje zrakoplova iznosi 2.678 metara. Brzina uspona (engl. *Climb Speed*), brzina odluke (engl. *Decision Speed*) te brzina uspona (engl. *Climb Speed*) povećale su se za 1 kt. Izračun je prikazan na slici 23.



**Slika 23:** FlySmart sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb uz uvjet QNH 1025 hPa

Izvor: FlySmart Software Croatia Airlines-a

Ukoliko svi prethodno navedeni uvjeti ostanu isti uz promjenu trenutnog tlaka zraka na zračnoj luci (engl. *Sea Level Pressure* - QNH) na 990 hPa promjena u maksimalnoj dopuštenoj masi za polijetanje iznosi (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW) 900 kg manje. Manji tlak zraka znači manju gustoću zraka, a manja gustoća zraka lošije utječe na performanse zrakoplova. Potrebna duljina uzletno – sletne staze za zaustavljanje zrakoplova iznosi 2.692 metara. Brzine su ostale iste kao u standardnim uvjetima. Izračun je prikazan na slici 24.



**Slika 24:** FlySmart sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb uz uvjet QNH 990 hPa

Izvor: FlySmart Software Croatia Airlines-a

Ukoliko svi prethodno navedeni uvjeti ostanu isti, ali uz isključenu klimatizaciju kabine zrakoplova (engl. AIR COND) promjena u maksimalnoj dopuštenoj masi za polijetanje iznosi (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW) 1.500 kg više. U slučaju isključene klimatizacije motor ima jaču snagu. Jača snaga motora znači veću dopuštenu maksimalnu masu (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW) u polijetanju. Potrebna duljina uzletno – sletne staze za zaustavljanje zrakoplova iznosi 2.698 metara. Brzine su ostale iste kao u standardnim uvjetima. Izračun je prikazan na slici 25.



**Slika 25:** FlySmart sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb uz uvjet AIR COND = off

Izvor: FlySmart Software Croatia Airlines-a

Ukoliko svi prethodno navedeni uvjeti ostanu isti, ali uz upaljen sustav protiv zaleđivanja (engl. A – ICE) na motoru i krilu promjena u maksimalnoj dopuštenoj masi za polijetanje iznosi (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW) 700 kg manje. Upaljeni sustav protiv zaleđivanja (engl. A – ICE) uzima zrak s motora te motor ima manju snagu. Potrebna duljina uzletno – sletne staze za zaustavljanje zrakoplova iznosi 2.475 metara. Brzina uspona (engl. *Climb Speed*) i brzina odluke (engl. *Decision Speed*) povećale su se za 2 kt, dok se brzinom uspona (engl. *Climb Speed*) povećala za 3 kt. Izračun je prikazan na slici 26. Ukoliko je sustav protiv zaleđivanja (engl. A – ICE) upaljen samo na motoru, proračuni iznose isto.





**Slika 26:** FlySmart sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb uz uvjet A-ICE = Engine & Wing

Izvor: FlySmart Software Croatia Airlines-a

Svi navedeni proračuni uzimaju u obzir da će uvijek otkazati jedan motor zrakoplova u polijetanju. Ovim postupkom osigurava se veća sigurnosna margina operacija.

Prikaz svih prethodno proračunatih parametara pomoću programa *FlySmart* nalazi se u tablici 6. Najveći utjecaj na brzinu odluke (engl. *Decision Speed*), rotacije (engl. *Rotation Speed*) i uspona (engl. *Climb Speed*) ima uključen sustav protiv zaleđivanja (engl. A-ICE). Najveći utjecaj na maksimalnu masu (težinu) u polijetanju (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW) ima isključena klimatizacija (engl. AIR COND) putničke kabine zbog dodatne snage koju dobivaju motori. Najveća potrebna duljina uzletno – sletne staze je pri uvjetima repnog vjetrova (engl. *Tail Wind* – TL) zbog većeg potrebnog vremena kočenja zrakoplova koji ima veću horizontalnu brzinu u



odnosu na tlo (engl. *Ground Speed*) nego pri uvjetima čeonog vjetra (engl. *Head Wind – HD*).

**Tablica 6:** Prikaz proračunatih parametara u polijetanju pomoću programa *FlySmart*

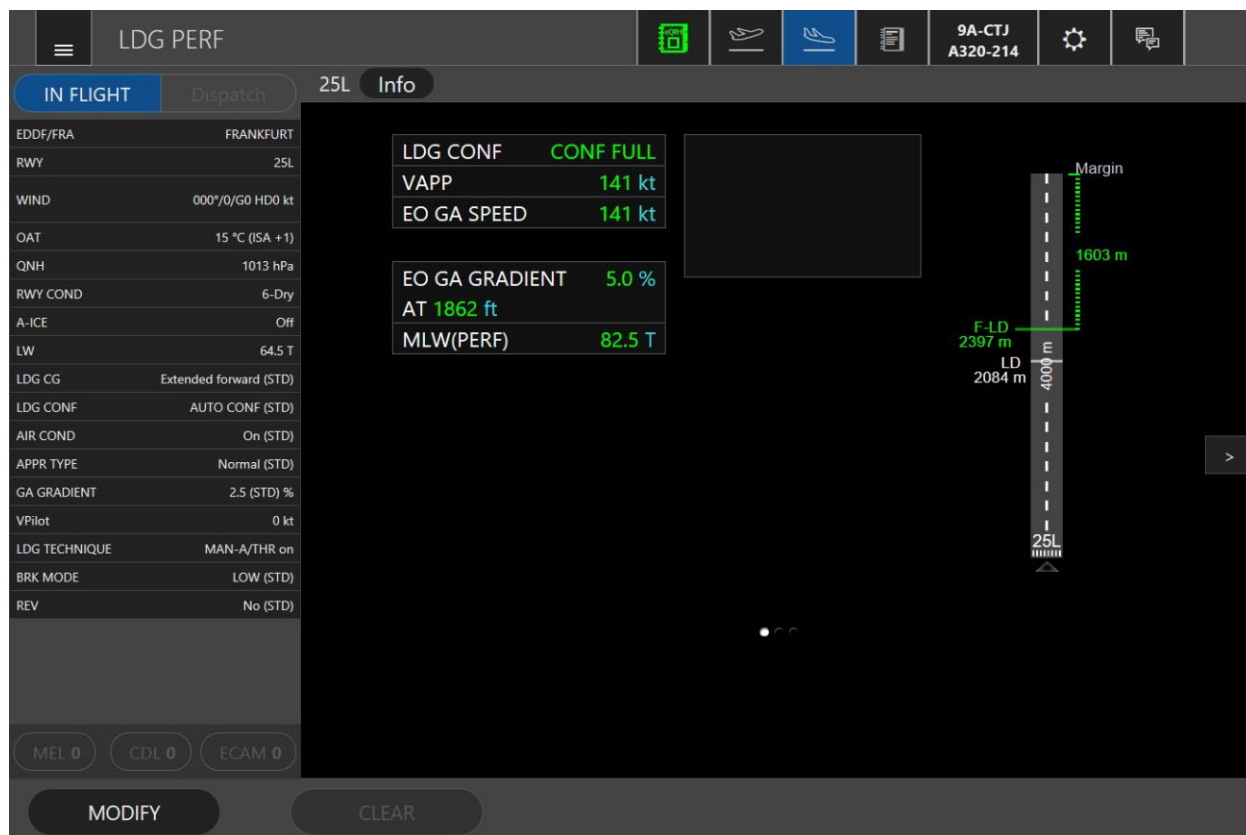
|                               | $v_1$         | $v_r$         | $v_2$         | MTOW             | ASD            |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------|----------------|
| ISA uvjeti                    | 146 kt        | 146 kt        | 149 kt        | 77.300 kg        | 2.693 m        |
| WIND = 10 kt TW               | 146 kt        | 146 kt        | 150 kt        | 74.400 kg        | <b>2.771 m</b> |
| WIND = 10 kt HD               | 147 kt        | 147 kt        | 151 kt        | 77.900 kg        | 2.637 m        |
| OAT = 35°C                    | 146 kt        | 146 kt        | 149 kt        | 76.100 kg        | 2.693 m        |
| OAT = -10°C                   | 146 kt        | 146 kt        | 149 kt        | 78.600 kg        | 2.693 m        |
| QNH = 1025 hPa                | 147 kt        | 147 kt        | 150 kt        | 77.700 kg        | 2.678 m        |
| QNH = 990 hPa                 | 146 kt        | 146 kt        | 149 kt        | 76.400 kg        | 2.692 m        |
| A-ICE = Engine<br>& Wing = On | <b>148 kt</b> | <b>148 kt</b> | <b>152 kt</b> | 76.600 kg        | 2.475 m        |
| AIR COND = Off                | 146 kt        | 146 kt        | 149 kt        | <b>78.800 kg</b> | 2.698 m        |

Izvor: *FlySmart* Software Croatia Airlines-a

## 5.2. Proračun performansi slijetanja pomoću programa *FlySmart* na ruti Zagreb – Frankfurt

Proračun performansi slijetanja na temelju uvjeta Međunarodne standardne atmosfere (engl. *Standard Atmosphere - ISA*), pri kojima nema vjetra, vanjska temperatura zraka (engl. *Outside Air Temperature – OAT*) iznosi 15 °C (ISA +1), a trenutni tlak zraka na zračnoj luci iznosi (engl. *Sea Level Pressure – QNH*) 1.013 hPa. Sustav protiv zaleđivanja (engl. A – ICE) je ugašen, masa zrakoplova u slijetanju (engl. *Landing Weight – LW*) iznosi 64.500 kg te je klimatizacija zrakoplova (engl. *AIR COND*) uključena. Slika 27. prikazuje naprijed nabrojane uvjete na sučelju sustava *FlySmart*.

Proračun je temeljen na slijetanju u smjeru 25L uzletno – sletne staze Zračne luke Frankfurt – EDDF/FRA. Konačna brzina pristupa (engl. *Final Approach Speed*) označava se s  $v_{app}$ , to je brzina zrakoplova tijekom slijetanja, 50 ft iznad uzletno – sletne staze te iznosi 141 kt. Proračunata maksimalna masa zrakoplova u slijetanju je (engl. *Maximum Landing Weight* – MLW) 82.500 kg. Potrebna duljina uzletno – sletne staze za zaustavljanje zrakoplova iznosi 2.397 metara.

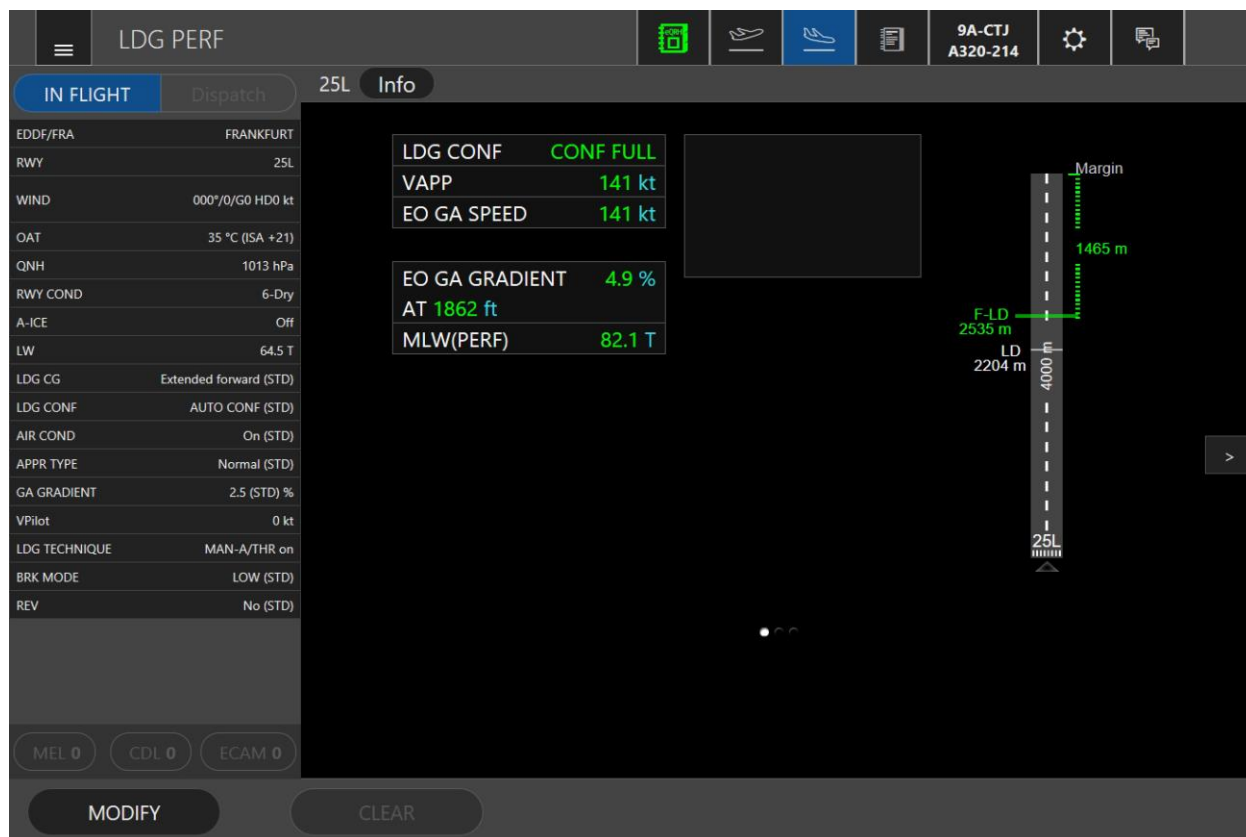


**Slika 27:** FlySmart sučelje s proračunima za slijetanje sa Zračne luke Frankfurt na temelju ISA uvjeta

Izvor: FlySmart Software Croatia Airlines-a

Ukoliko svi prethodno navedeni uvjeti ostanu isti uz promjenu vanjske temperature zraka (engl. *Outside Air Temperature* - OAT) na 35 °C (ISA +21) promjena u maksimalnoj dopuštenoj masi za slijetanje iznosi (engl. *Maximum Landing Weight* – MLW) 400 kg manje. Potrebna duljina uzletno – sletne staze za zaustavljanje

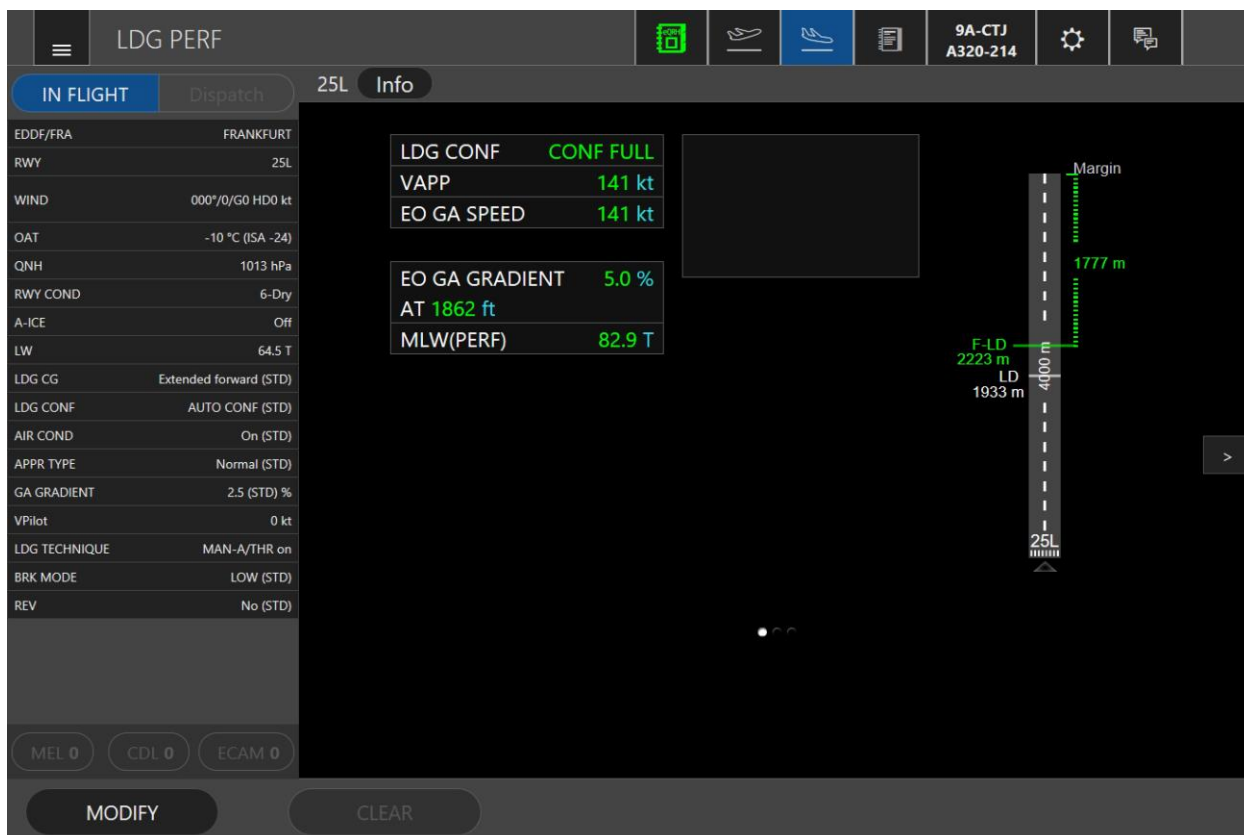
zrakoplova iznosi 2.535 metara. Brzina je ostala ista kao i pri standardnim uvjetima. Proračun je prikazan na slici 28.



**Slika 28:** FlySmart sučelje s proračunima za slijetanje sa Zračne luke Frankfurt na temelju uvjeta OAT 35 °C

Izvor: FlySmart Software Croatia Airlines-a

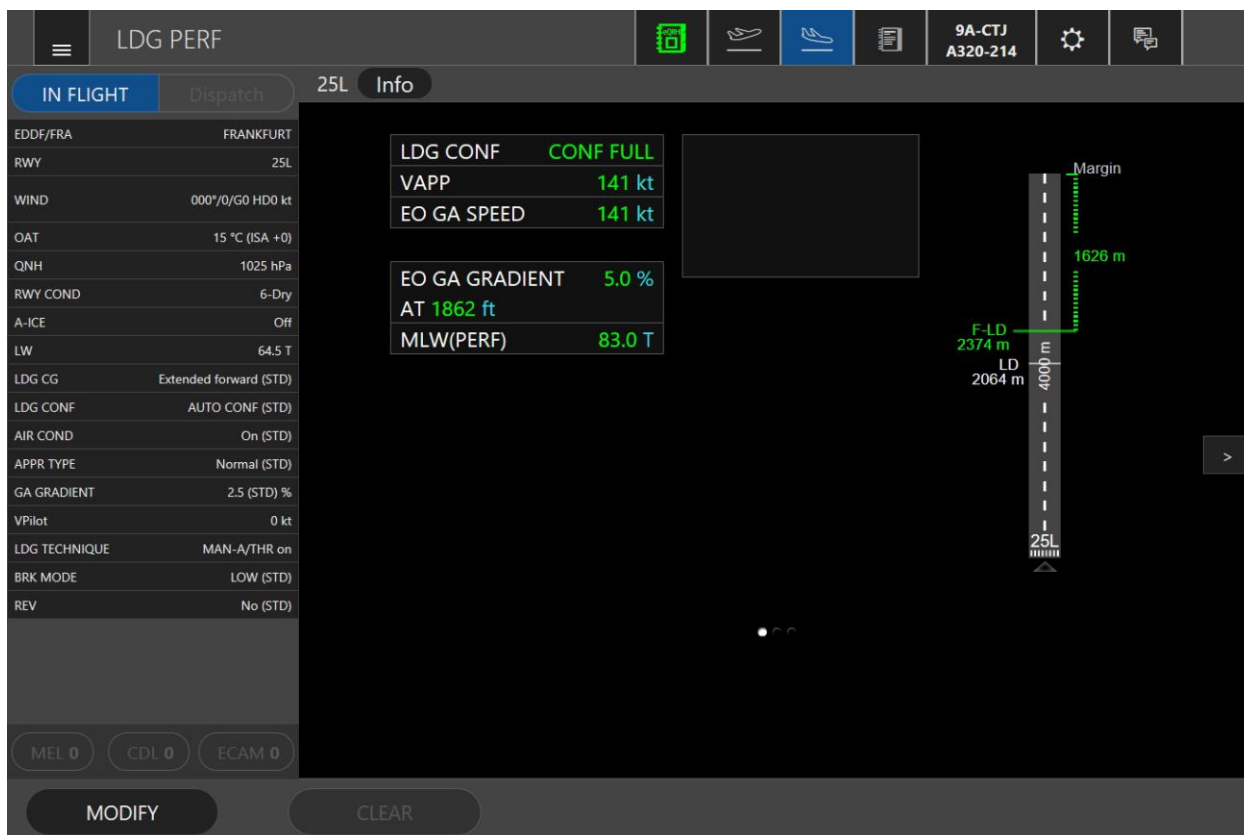
Ukoliko svi prethodno navedeni uvjeti ostanu isti uz promjenu vanjske temperature zraka (engl. *Outside Air Temperature* - OAT) na -10 °C (ISA -24) promjena u maksimalnoj dopuštenoj masi za slijetanje iznosi (engl. *Maximum Landing Weight* – MLW) 400 kg više. Potrebna duljina uzletno – sletne staze za zaustavljanje zrakoplova iznosi 2.223 metara. Brzina je ostala ista kao i pri standardnim uvjetima. Proračun je prikazan na slici 29.



**Slika 29:** FlySmart sučelje s proračunima za slijetanje sa Zračne luke Frankfurt na temelju uvjeta OAT -10 °C

Izvor: FlySmart Software Croatia Airlines-a

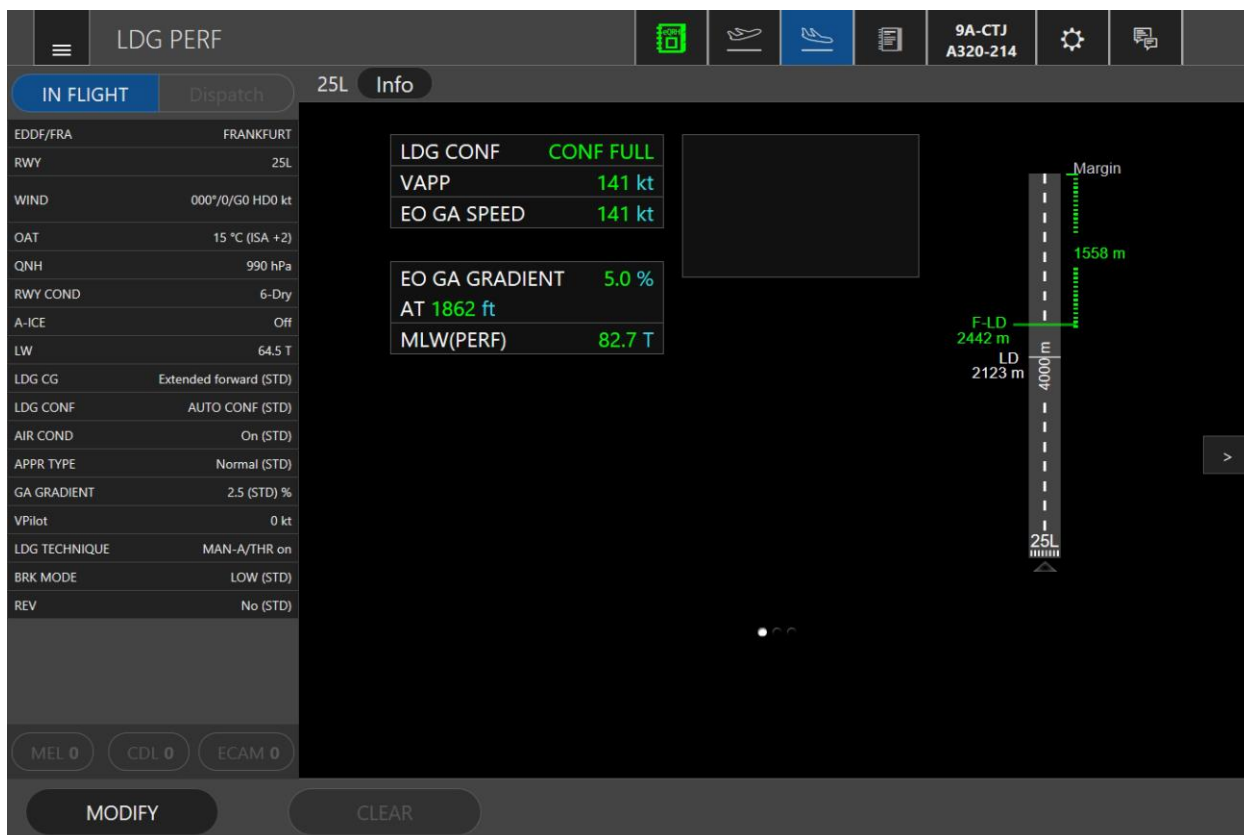
Ukoliko svi prethodno navedeni uvjeti ostanu isti uz promjenu trenutnog tlaka zraka na zračnoj luci (engl. *Sea Level Pressure* - QNH) na 1.025 hPa promjena u maksimalnoj dopuštenoj masi za slijetanje iznosi (engl. *Maximum Landing Weight* – MLW) 500 kg više. Potrebna duljina uzletno – sletne staze za zaustavljanje zrakoplova iznosi 2.374 metara. Brzina je ostala ista kao i pri standardnim uvjetima. Izračun je prikazan na slici 30.



**Slika 30:** FlySmart sučelje s proračunima za slijetanje sa Zračne luke Frankfurt na temelju uvjeta QNH = 1025 hPa

Izvor: FlySmart Software Croatia Airlines-a

Ukoliko svi prethodno navedeni uvjeti ostanu isti uz promjenu trenutnog tlaka zraka na zračnoj luci (engl. *Sea Level Pressure* - QNH) na 990 hPa promjena u maksimalnoj dopuštenoj masi za slijetanje iznosi (engl. *Maximum Landing Weight* – MLW) 200 kg više. Potrebna duljina uzletno – sletne staze za zaustavljanje zrakoplova iznosi 2.442 metara. Brzina je ostala ista kao i pri standardnim uvjetima. Izračun je prikazan na slici 31.



**Slika 31:** FlySmart sučelje s proračunima za slijetanje sa Zračne luke Frankfurt na temelju uvjeta QNH = 990 hPa

Izvor: FlySmart Software Croatia Airlines-a

Ukoliko svi prethodno navedeni uvjeti ostanu isti, ali uz isključenu klimatizaciju kabine zrakoplova (engl. AIR COND) promjena u maksimalnoj dopuštenoj masi za polijetanje iznosi (engl. *Maximum Landing Weight* – MLW) 2.100 kg više. Potrebna duljina uzletno – sletne staze za zaustavljanje zrakoplova iznosi 2.397 metara. Brzina su ostale iste kao u standardnim uvjetima. Izračun je prikazan na slici 32.



**Slika 32:** FlySmart sučelje s proračunima za slijetanje sa Zračne luke Frankfurt na temelju uvjeta AIR COND = off

Izvor: FlySmart Software Croatia Airlines-a

Ukoliko svi prethodno navedeni uvjeti ostanu isti, ali uz upaljen sustav protiv zaleđivanja (engl. A – ICE) promjena u maksimalnoj dopuštenoj masi za slijetanje iznosi (engl. *Maximum Landing Weight* – MLW) 800 kg manje. Potrebna duljina uzletno – sletne staze za zaustavljanje zrakoplova iznosi 2.397 metara. Brzina je ostala ista kao i pri standardnim uvjetima. Izračun je prikazan na slici 33.



**Slika 33:** FlySmart sučelje s proračunima za slijetanje sa Zračne luke Frankfurt na temelju uvjeta A-ICE = Engine & Wing

Izvor: FlySmart Software Croatia Airlines-a

Prikaz svih prethodno proračunatih parametara temeljem programa *FlySmart* za slijetanje nalazi se u tablici 7. Proračun je rađen za slijetanje zrakoplova A320-214 na uzletno – sletnu stazu 25L zračne luke Frankfurt (FRA/EDDF). Brzina prilaza (engl. *Approach Speed*) ista je pri svim promatranim uvjetima. Najveći utjecaj na maksimalnu dopuštenu masu (težinu) u slijetanju (engl. *Maximum Landing Weight* – MLW) ima isključena klimatizacija (engl. AIR-COND) putničke kabine zbog istih razloga kao i kod polijetanja. Najveći utjecaj na potrebnu duljinu uzletno – sletnu stazu zrakoplova za zaustavljanje ima visoka temperatura zbog lošijih performansi zrakoplova. Topliji zrak znači manju gustoću zraka, a performanse zrakoplova su bolje prilikom gušćeg zraka.



**Tablica 7:** Prikaz proračunatih parametara u polijetanju pomoću programa *FlySmart*

|                          | $v_{app}$ | MLW              | F-LD           |
|--------------------------|-----------|------------------|----------------|
| ISA uvjeti               | 141 kt    | 82.500kg         | 2.397 m        |
| OAT = 35°C               | 141 kt    | 82.100 kg        | <b>2.535 m</b> |
| OAT = -10°C              | 141 kt    | 82.900 kg        | 2.223 m        |
| QNH = 1025 hPa           | 141 kt    | 83.000 kg        | 2.374 m        |
| QNH = 990 hPa            | 141 kt    | 82.700 kg        | 2.442 m        |
| A-ICE = Engine<br>& Wing | 141 kt    | 81.700 kg        | 2.397 m        |
| AIR COND = Off           | 141 kt    | <b>84.600 kg</b> | 2.397 m        |

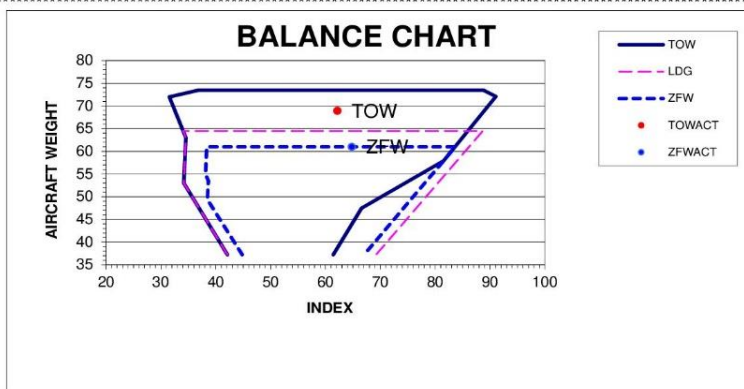
Izvor: *FlySmart* Software Croatia Airlines-a

### 5.3. Izračun opterećenja i uravnoteženja zrakoplova

Slika 34. prikazuje listu za izračun opterećenja i uravnoteženja (engl. *Load and Trim Sheet*) za zrakoplov A320 - 214 (9A – CTJ). Zrakoplov na letu ima maksimalnih 174 putnika, od čega je 87 ženskih i 87 muških. Ukupna masa ženskih putnika iznosi 6.090 kg, a muških putnika 7.656 kg. Dakle, ukupna masa putnika iznosi 13.746 kg. Ukupna količina prtljage i tereta na letu je 3.899 kg, od čega je po 1.500 kg smješteno u prvi i treći odjeljak bagažnika, a 899 kg u peti odjeljak bagažnika. Ukupna masa tereta (engl. *Total Traffic Load – TTL*) iznosi 17.645 kg. Suha operativna težina zrakoplova (engl. *Dry Operating Weight – DOW*) iznosi 43.355 kg. Ispravno bi bilo označavati suhu operativnu težinu zrakoplova kao suhu operativnu masu zrakoplova (engl. *Dry Operating Mass – DOM*) jer se DOW zapravo izražava u Newtonima [N], ali kako se u programu upotrebljava kratica DOW i u tekstu će se za suhu operativnu masu zrakoplova koristiti kratica DOW. Stvarna težina zrakoplova u polijetanju (engl. *Actual Take-Off Weight - ATOW*) iznosi 68.936 kg, dok stvarna težina zrakoplova u slijetanju (engl. *Actual Landing Weight - ALW*) iznosi 64.312 kg.

A320-214 174PAX

|                               |           |                 |         |                     |                 |             |                 |               |
|-------------------------------|-----------|-----------------|---------|---------------------|-----------------|-------------|-----------------|---------------|
| LOADSHEET                     |           |                 | CHECKED |                     | APPROVED        |             | EDNO            |               |
| ALL WEIGHTS IN KILOS          |           |                 |         |                     |                 |             |                 |               |
| FROM/<br>ZAG                  | TO<br>FRA | FLIGHT<br>OU123 | A/C     | REG<br>CTJ          | VERSION<br>801A | CREW<br>2/4 | DATE<br>14Sep20 | TIME<br>13:13 |
| LOAD IN COMPARTMENT           |           |                 | WEIGHT  | 3899 1/             | 1500 3/         | 1500 4/     | 0 5/            | 899           |
| PASSENGER/CABIN BAG           |           |                 | 13746   | 87 /                | 87 /            | 0 /         | 0 TTL           | 174           |
| *****                         |           |                 |         |                     |                 |             |                 |               |
| TOTAL TRAFIC LOAD             |           |                 | 17645   |                     |                 |             |                 |               |
| DRY OPERATING WEIGHT          |           |                 | 43355   |                     |                 |             |                 |               |
| ZERO FUEL WEIGHT              |           |                 | 61000   | MAX                 | 61000           | L           | ADJ             |               |
| TAKE OFF FUEL                 |           |                 | 7936    |                     |                 |             |                 |               |
| TAKE OFF WEIGHT ACTUAL        |           |                 | 68936   | MAX                 | 73500           |             | ADJ             |               |
| TRIP FUEL                     |           |                 | 4624    |                     |                 |             |                 |               |
| LANDING WEIGHT ACTUAL         |           |                 | 64312   | MAX                 | 64500           |             | ADJ             |               |
| BALANCE AND SEATING CONDITION |           |                 |         | LAST MINUTE CHANGES |                 |             |                 |               |
| DOI                           | 45.6      |                 |         | DEST                | SPEC            | CL/CPT      | +/-             | WEIGHT        |
| LIZFW                         | 64.8      | MACZFW          | 30.8    |                     |                 |             |                 |               |
| LITOW                         | 62.2      | MACTOW          | 29.2    |                     |                 |             |                 |               |
| LILAW                         | 66.1      | MACLAW          | 31.0    |                     |                 |             |                 |               |
| CABIN TRIM                    |           |                 |         |                     |                 |             |                 |               |
| STAB TO                       | -0.16     | NOSE DOWN       |         |                     |                 |             |                 |               |
|                               | 0A 54     | 0B 60           | 0C 60   |                     |                 |             |                 |               |
| UNDERLOAD BEFORE LMC          |           |                 |         | 0                   |                 |             |                 |               |
| *****                         |           |                 |         |                     |                 |             |                 |               |



Slika 34: Prikaz elektroničkog izračuna uravnoteženja i opterećenja za A320-214

Izvor: Program za izračun uravnoteženja i opterećenja Croatia Airlines-a

## 5.4. Proračun putanje leta putem *LIDO* sustava

Operativni plan leta putem *LIDO* sustava priprema se za svaki let *Croatia Airlines*-a.

Ruta Zagreb – Frankfurt (ZAG/LDZG – FRA/EDDF) prikazana je na slici 35. Ljubičaste oznake predstavljaju sektore zračnog prometa kroz koje zrakoplov prolazi. Crvena linija predstavlja najkraću zračnu udaljenost između dvije zračne luke (engl. *Great Circle Distance*). Crna linija predstavlja stvarnu putanju leta između dvije zračne luke. Isprekidana crna linija predstavlja putanju leta do prve alternativne zračne luke za slijetanje, u ovom slučaju to je zračna luka Stuttgart (STU/EDDS).



**Slika 35:** Prikaz rute Zagreb – Frankfurt

Izvor: *LIDO* Software *Croatia Airlines*-a

Tablica 8. prikazuje izračun za rutu Zagreb – Frankfurt (LDZA/ZAG – EDDF/FRA) s zrakoplovom A320-214 (9A – CTJ) u uvjetima Međunarodne standardne atmosfere (engl. *International Standard Atmosphere – ISA*).

Ukupna udaljenost (engl. *Total Distance*) između Međunarodne zračne luke Zagreb (LDZA/ZAG) i Zračne luke Frankfurt (EDDF/FRA) iznosi 440 nm. Brzina zrakoplova je ekonomična (ECON). Alternativna zračna luka u polijetanju je zračna luka Jože Pučnik Ljubljana (LJLJ/LJU), a u slijetanju zračna luka Stuttgart (EDDS/STR).

Oznaka EST (engl. *Estimated*) predstavlja pretpostavljeno vrijeme polijetanja i slijetanja zrakoplova. Oznaka CTOT (engl. *Calculated Take-Off Time*) predstavlja stvarno vrijeme polijetanja zrakoplova koje ručno unosi kapetan zrakoplova. Oznaka Elevation predstavlja visinu odredišne zračne luke iznad srednje razine mora (engl. *Mean Sea Level – MSL*) te iznosi 362 ft. Index troškova (engl. *Cost Index – CI*) je omjer vremenski ovisnih troškova i troškova goriva operativnog zrakoplova, u ovom slučaju A320-214, te iznosi 72. Oznaka AVGE FF predstavlja proračunati protok goriva (engl. *Average Fuel Flow*) i iznosi 2.676 kg/h. Oznaka AVGE WC predstavlja proračunati trag vjetra, a slovo P označava da se radi o repnom vjetru (engl. *Tail Wind – TW*).

Pretpostavljeni ukupni teret (EST) zrakoplova iznosi 17.645 kg te je u ovom slučaju isti kao i planirani ukupni teret (PLN) koji je moguće prevesti na zadanoj ruti. Oznaka ZFW (engl. *Zero Fuel Weight*) predstavlja ukupnu težinu (zapravo masu) zrakoplova sa svim njegovim komponentama umanjenu za težinu (masu) goriva te iznosi 61.000 kg. Oznaka ADDFU (engl. *Additional Fuel*) s slovom L (engl. *Load*) označava da teret ima veći prioritet nad gorivom ukoliko dođe do scenarija da zrakoplov mora smanjiti težinu.

Oznaka LW (engl. *Landing Weight*) predstavlja maksimalnu dozvoljenu strukturalnu masu zrakoplova u slijetanju koja iznosi 64.500 kg te planiranu (PLN) masu u slijetanju koja iznosi 63.579 kg. Oznaka TOW (engl. *Take-Off Weight*) predstavlja maksimalnu dozvoljenu strukturalnu masu zrakoplova u polijetanju te ona iznosi 73.500 kg, dok planirana (PLN) masa u polijetanju iznosi 66.655 kg.

Oznaka FLIGHT PLAN ROUTE predstavlja skraćeni prikaz navedene rute uz dodatne opise kontrole zračnog prometa (engl. *Air Traffic Control* – ATC) o razinama leta (engl. *Flight Level* – FL). Oznaka REMARKS predstavlja prostor za napomene koje unosi dispečer tijekom procesa pripreme plana leta ili za ručni upis odobrenja koje unosi kapetan.

Potrebno gorivo za rutu (engl. *Trip Fuel* - TF) na ovoj ruti iznosi 3.076 kg, a vrijeme leta je 1 sat i 9 minuta. Gorivo za neplanirane situacije (CONTMIN) iznosi 200 kg (ova količina goriva zadana je zakonski). Gorivo potrebno od odredišne zračne luke do alternativne zračne luke u slijetanju (ALTN) iznosi 1.179 kg. Dodatno gorivo za čekanje (engl. *holding*) iznad alternacije (FINAL RES) iznosi 1.200 kg. Potrebno gorivo za polijetanje (engl. *Take-Off Fuel* - TOF) računa kapetan u zrakoplovu. Gorivo potrebno za vožnju po manevarskoj površini iznosi 187 kg.

Sekcija ALTN prikazuje udaljenost (DIST), nivoe leta (FL), vjetar (WIND), vrijeme (TIME) i potrebno gorivo (FUEL) do određene alternacije u slijetanju, u ovom slučaju zračne luke Frankfurt (FRA/EDDF). Oznaka INFO označava da su proračuni rađeni informativno za slučaj potrebe, a ne zbog toga što vremenski uvjeti ne dopuštaju slijetanje u alternativnu zračnu luku što bi imalo oznaku WX.

Oznaka NO TANKERING RECOMMENDED (P) označava da nema preporuka za opskrbu zrakoplova gorivom na ovoj ruti. Sekcija REASON EXTRA FUEL je prostor u koji kapetan označava razlog zbog kojeg je tražio dodatno gorivo koje nije uračunato u gore navedene proračune.

Iduća sekcija prikazuje razrađenu rutu od polazišne do odredišne zračne luke. Oznaka AWY prikazuje naziv i poziciju točke na ruti prema kojoj se posada zrakoplova javlja kontroli zračnog prometa. Gornja brojka oznake DIST predstavlja udaljenost od polazišne zračne luke, dok donja brojka prikazuje udaljenost do odredišne zračne luke u nautičkim miljama (nm). Gornja brojka oznake TIME predstavlja vrijeme koje je proteklo od polijetanja s polazišne zračne luke, dok donja brojka predstavlja vrijeme koje je preostalo do odredišne zračne luke. Oznaka LVL predstavlja nivo leta tijekom cijele rute. Uspon (penjanje) zrakoplova se označava oznakom CLB (engl. *Climb*), dok se

spuštanje (poniranje) zrakoplova označava oznakom DES (engl. *Descent*). Razina leta na ovoj ruti je FL360 i ostvaren je 14 minuta nakon polijetanja zrakoplova. Oznaka T predstavlja vanjsku temperaturu zraka (engl. *Outside Air Temperature – OAT*) te je u krstarenju na ovoj ruti iznosila – 56. Oznaka TAS (engl. *True Air Speed*) predstavlja brzinu zrakoplova u krstarenju te je na ovoj ruti iznosila 459 kts. Oznaka RFU (engl. *Remaining Fuel*) predstavlja preostalo gorivo na određenoj točki rute, dok oznaka USED predstavlja potrošeno gorivo do određene točke na ruti.

Iduća sekcija prikazuje iste informacije za prvu i drugu alternativnu zračnu luku.

**Tablica 8: Plan leta izrađen pomoću sustava LIDO**

|         |           |         |           |           |       |        |           |      |
|---------|-----------|---------|-----------|-----------|-------|--------|-----------|------|
| OFF     | OU1234/14 | 14SEP   | LDZA/     | ZAG       | EDDF/ | FRA    | ELEVATION | 362  |
| 1       | 9ACTJ     | (102.4) | 1200/1210 | 1414/1430 | FMS   |        |           |      |
|         |           | EST     | 1200/1210 | 1319/1335 | COST  | INDEX  | 72        |      |
|         |           | CTOT    | ....      |           | ROUTE | ZAGFRA |           |      |
| ATS C/S | NIKOLINA  | ACT     | ..../.... | ..../.... | TTL   | DIST   | 440       |      |
|         |           |         |           |           | SPEED | ECON   |           |      |
|         | LOAD      | ZFW     | ADDFU     | LW        | TOW   | AVGE   | FF        | 2676 |
| EST     | 17645     | 61000   | 0L        | MAL       | 64500 | 73500  | AVGE      | WC   |
| PLN     | 17645     | 61000   | 0L        | PLN       | 63579 | 66655  |           |      |
| ACT     | .....     | .....   |           | .....     | ..... | TKOF   | ALTN      | LJLJ |

-----  
 FLIGHT PLAN ROUTE

-LDZA/04 F360 OBUTI DCT SUBEN T161 SPESA SPESA1L EDDF/25L  
 -----

REMARKS (DISPATCH) & CLEARANCES:  
 -----

|           |       |       |            |       |                        |
|-----------|-------|-------|------------|-------|------------------------|
| TRIP      | 3076  | 01.09 |            | ..... | .....                  |
| CONTMIN   | 200   | 00.05 |            | ..... | .....                  |
| ALTN      | 1179  | 00.27 | EDDS       | ..... | .....                  |
| FINAL RES | 1200  | 00.30 |            | ..... | .....                  |
| HLDD      | ..... | ..... |            | ..... | .....                  |
| ADDFU     | ..... | ..... |            |       |                        |
| PLNTOF    | 5655  | 02.11 |            |       | FIVE SIX FIVE          |
| EXTRA     | ..... | ..... |            |       |                        |
| TOF       | ..... | ..... |            | ..... | .....                  |
| TAXI      | .187  | 00.10 |            | ..... |                        |
| BLOCK     | ..... |       | TCAP 18730 | ..... | REM FUEL ..... AT .... |

---

|         |      |     |        |      |                         |
|---------|------|-----|--------|------|-------------------------|
| ALTN    | DIST | LVL | WIND   | TIME | FUEL VIA                |
| EDDS/25 | 123  | 150 | 00/000 | 0027 | 1179 ANEKI9F ANEKI Y163 |
|         |      |     |        |      | NEKLO Y171 INKAM N850   |





```

-----
SID      N46.22.7E016.16.4  44          9 CLB  36  36/000      4767 ...
103      OBUTI              396          0009      M00              888 ...
                                     ..../..
-----
                                     108          14          36  36/000      3824 ...
TOC              288          0023 360 M00              1831 ...
                                     ..../..
-----
          N48.26.2E013.20.2  63 T316      9          36  36/000  459  3465 ...
31        SUBEN              225          0032      -55              458  2190 ...
                                     ..../..
-----
T161     N48.32.3E012.56.9  17 T292      2          36  36/000  459  3373 ...
33        NENUM              208          0034      -56              459  2282 ...
                                     ..../..
-----
T161     N48.45.0E012.07.5  35 T291      4          36  36/000  459  3179 ...
33        AKINI              173          0038      -56              459  2476 ...
                                     ..../..
-----
T161     N48.48.1E011.38.0  20 T279      3          36  36/000  459  3071 ...
36        NIMDI              153          0041      -56              459  2584 ...
                                     ..../..
-----
T161     N48.50.7E011.13.2  16 T279      2          36  36/000  459  2980 ...

```

41 ERNAS 137 0043 -56 459 2675 ...  
..../..

-----  
T161 N48.57.8E011.03.3 10 T318 1 36 36/000 459 2927 ...  
41 GOLMO 127 0044 -56 459 2728 ...  
..../..

-----  
10 T317 2 DES 36 36/000 459 2874 ...  
TOD 117 0046 -56 459 2781 ...  
..../..

-----  
T161 N49.51.7E009.20.9 77 12 DES 36/000 2769 ...  
35 SPESA 40 0058 2886 ...  
..../..

-----  
STAR N49.55.3E009.02.4 13 3 DES 36/000 2740 ...  
30 CHA 115.35 27 0101 2915 ...  
..../..

-----  
27 8 36/000 2579 ...  
EDDF/25L 0 0109 3076 ...  
..../..

ZFW CORR PS 1000 PLNTOF PS 42 / MS 1000 PLNTOF MS 41  
2000 FT BELOW TRIP PS 20 / TIME 01.09  
4000 FT BELOW TRIP PS 64 / TIME 01.09

-----  
ADDITIONAL ALTERNATE INFO FOR: 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  
-----

|     |  |    |  |       |     |     |        |      |     |
|-----|--|----|--|-------|-----|-----|--------|------|-----|
|     |  | 31 |  | 7     | CLB | 36  | 36/000 | 1885 | ... |
| TOC |  | 92 |  | 0007  | 150 | M00 |        | 694  | ... |
|     |  |    |  | ../.. |     |     |        |      |     |

-----

|      |                   |    |      |       |  |     |        |     |          |
|------|-------------------|----|------|-------|--|-----|--------|-----|----------|
| RSID | N49.19.0E008.28.8 | 20 | T185 | 3     |  | 36  | 36/000 | 350 | 1756 ... |
| 29   | ANEKI             | 72 |      | 0010  |  | -15 |        | 350 | 823 ...  |
|      |                   |    |      | ../.. |  |     |        |     |          |

-----

|      |                   |    |      |      |  |     |        |     |          |
|------|-------------------|----|------|------|--|-----|--------|-----|----------|
| Y163 | N49.17.2E008.28.6 | 2  | T185 | 1    |  | 36  | 36/000 | 350 | 1743 ... |
| 22   | NEKLO             | 70 |      | 0011 |  | -15 |        | 350 | 836 ...  |

-----

../..

-----  
Y171 N49.09.0E008.36.5 9 T148 1 36 36/000 350 1672 ...

40 INKAM 61 0012 -15 350 907 ...

../..

-----  
7 T186 2 DES 36 36/000 350 1620 ...

TOD 54 0014 -15 350 959 ...

../..

-----  
Z729 N48.54.8E009.20.4 33 6 DES 36/000 1546 ...

35 LBU 109.2 21 0020 1033 ...

../..

-----  
21 7 36/000 1400 ...

EDDS/25 0 0027 1179 ...

../..

-----  
2ND DESTINATION ALTERNATE AERODROME: EDDK

RTE DIST: 163 FT: 0037

FLIGHT PLAN ROUTE

-EDDF/25L OBOKA1G OBOKA EDDK/14L

-----  
AWY POSITION DIST TRK TIME LVL TP W/V TAS RFU/ACT

MORA T GS USED/..

-----  
EDDF/25L A/B  
-----

|     |  |    |              |    |        |          |
|-----|--|----|--------------|----|--------|----------|
|     |  | 81 | 18 CLB       | 36 | 36/000 | 1780 ... |
| TOC |  | 81 | 0018 160 M01 |    |        | 1186 ... |
|     |  |    | ../..        |    |        |          |

-----

|      |                   |        |       |     |        |     |          |
|------|-------------------|--------|-------|-----|--------|-----|----------|
| RSID | N50.15.3E007.44.3 | 8 T309 | 2     | 36  | 36/000 | 350 | 1743 ... |
| 35   | MASIR             | 74     | 0020  | -17 |        | 350 | 1223 ... |
|      |                   |        | ../.. |     |        |     |          |

-----

|      |                   |        |       |     |        |     |          |
|------|-------------------|--------|-------|-----|--------|-----|----------|
| RSID | N50.21.7E007.39.9 | 7 T336 | 1     | 36  | 36/000 | 350 | 1693 ... |
| 33   | RAVKI             | 67     | 0021  | -17 |        | 350 | 1273 ... |
|      |                   |        | ../.. |     |        |     |          |

-----

|     |  |        |       |     |        |     |          |
|-----|--|--------|-------|-----|--------|-----|----------|
|     |  | 7 T336 | 1 DES | 36  | 36/000 | 350 | 1640 ... |
| TOD |  | 59     | 0022  | -17 |        | 350 | 1326 ... |
|     |  |        | ../.. |     |        |     |          |

-----

|      |                   |    |       |  |        |  |          |
|------|-------------------|----|-------|--|--------|--|----------|
| RSID | N50.44.7E007.20.3 | 19 | 3 DES |  | 36/000 |  | 1592 ... |
| 27   | OBOKA             | 40 | 0025  |  |        |  | 1374 ... |
|      |                   |    | ../.. |  |        |  |          |

-----

|  |          |    |       |  |        |  |          |
|--|----------|----|-------|--|--------|--|----------|
|  |          | 41 | 12    |  | 36/000 |  | 1400 ... |
|  | EDDK/14L | 0  | 0037  |  |        |  | 1566 ... |
|  |          |    | ../.. |  |        |  |          |

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

FF EUCHZMFP EUCBZMFP

EDDFCTNX

(FPL-NIKOLIN-IS

-A320/M-SDE2FGIJ1RWY/LB1

-LDZA1200

-N0458F360 OBUTI DCT SUBEN T161 SPESA SPESA1L

-EDDF0059 EDDS

-PBN/B2B3B4B5D1S2 DOF/200914 REG/9ACTJX EET/LJLA0008 LOVV0012

EDUU0031 EDGG0050 CODE/501D1F OPR/CTN PER/C TALT/LJLJ RVR/075

RMK/24 HOUR CONTACT +385 1 6164 522)

Izvor: Program LIDO Croatia Airlines-a

Tablica 9. prikazuje proračun za istu rutu s uvjetima za dan 14. rujna 2020. godine. Razlika između stvarnog potrebnog goriva za let je 104 kg. Zbog atmosferskih uvjeta za let je uštedeno goriva te je let trajao 1 h i 6 minuta.

### Tablica 9: Plan leta izrađen pomoću sustava LIDO

|         |               |                 |           |            |        |
|---------|---------------|-----------------|-----------|------------|--------|
| OFF     | OU1234/14     | 14SEP LDZA/ ZAG | EDDF/ FRA | ELEVATION  | 362    |
| 2       | 9ACTJ (102.4) | 1200/1210       | 1414/1430 | FMS        |        |
|         |               | EST 1200/1210   | 1316/1332 | COST INDEX | 72     |
|         |               | CTOT            | ....      | ROUTE      | ZAGFRA |
| ATS C/S | NIKOLINA      | ACT             | ..../.... | TTL DIST   | 440    |
|         |               |                 | ..../.... | SPEED      | ECON   |



TOF ..... ..

TAXI .187 00.10 .....

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

-----

| ALTN          | DIST | LVL | WIND   | TIME | FUEL | VIA   |
|---------------|------|-----|--------|------|------|---|
| EDDS/25       | 123  | 150 | 15/010 | 0028 | 1207 | ANEKI9F ANEKI Y163<br>NEKLO Y171 INKAM N850<br>KRH Z729 LBU DCT         |
| INFO/EDDK/14L | 163  | 160 | 17/008 | 0036 | 1547 | OBOKA1G OBOKA<br>P0009 P340   |
| INFO/EDDL/23L | 183  | 180 | 18/010 | 0038 | 1613 | MARUN6F MARUN Y152<br>P0010 P406 ARPEG Z850 ADEMI T854<br>DOMUX DOMUX2G |
| INFO/EDDM/26L | 224  | 230 | 14/010 | 0043 | 1911 | CINDY1F CINDY Z74<br>P0016 P704 HAREM T104 ANORA<br>ANORA3A             |

-----

DISPATCHER ..... COMMANDER .....

NO TANKERING RECOMMENDED (P)

REASON EXTRA FUEL LOSS FOR EXTRA FUEL: 24US/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 | 41  | 10/021 | 4695 | ... |
| 103 | OBUTI             | 396 |  | 0009 |     | P11 |        | 884  | ... |
|     |                   |     |  | ..   |     | ..  |        |      | ..  |

|     |  |     |  |      |     |     |        |      |     |
|-----|--|-----|--|------|-----|-----|--------|------|-----|
|     |  | 116 |  | 15   |     | 42  | 12/028 | 3730 | ... |
| TOC |  | 280 |  | 0024 | 360 | P08 |        | 1849 | ... |
|     |  |     |  | ..   |     | ..  |        |      | ..  |

|    |                   |     |      |      |  |     |        |     |          |
|----|-------------------|-----|------|------|--|-----|--------|-----|----------|
|    | N48.26.2E013.20.2 | 55  | T316 | 6    |  | 42  | 13/042 | 461 | 3444 ... |
| 31 | SUBEN             | 225 |      | 0030 |  | -51 |        | 502 | 2135 ... |
|    |                   |     |      | ..   |  | ..  |        |     | ..       |

|      |                   |     |      |      |  |     |        |     |          |
|------|-------------------|-----|------|------|--|-----|--------|-----|----------|
| T161 | N48.32.3E012.56.9 | 17  | T292 | 2    |  | 41  | 14/036 | 463 | 3357 ... |
| 33   | NENUM             | 208 |      | 0032 |  | -53 |        | 492 | 2222 ... |
|      |                   |     |      | ..   |  | ..  |        |     | ..       |

```

-----
T161  N48.45.0E012.07.5  35 T291    5      41  15/035 463  3175 ...
33    AKINI                173    0037    -53      489  2404 ...
                                     ../..
-----
T161  N48.48.1E011.38.0  20 T279    2      42  15/036 463  3071 ...
36    NIMDI                153    0039    -53      484  2508 ...
                                     ../..
-----
T161  N48.50.7E011.13.2  16 T279    2      42  15/037 463  2984 ...
41    ERNAS                137    0041    -53      482  2595 ...
                                     ../..
-----
T161  N48.57.8E011.03.3  10 T318    1      42  15/038 461  2935 ...
41    GOLMO                127    0042    -53      498  2644 ...
                                     ../..
-----
                                     6 T317    1 DES  42  16/037 461  2902 ...
TOD   121    0043    -53      498  2677 ...
                                     ../..
-----
T161  N49.51.7E009.20.9  81      12 DES  15/015      2796 ...
35    SPESA                40      0055      2783 ...
                                     ../..
-----
STAR  N49.55.3E009.02.4  13      3 DES  15/011      2768 ...

```

30 CHA 115.35 27 0058 2811 ...  
..../..

-----  
27 8 15/013 2607 ...  
EDDF/25L 0 0106 2972 ...  
..../..

ZFW CORR PS 1000 PLNTOF PS 40 / MS 1000 PLNTOF MS 45  
2000 FT BELOW TRIP PS 23 / TIME 01.06  
4000 FT BELOW TRIP PS 72 / TIME 01.06

-----  
ADDITIONAL ALTERNATE INFO FOR: LDZA/ZAG - EDDF/FRA  
-----  
-----

1ST DESTINATION ALTERNATE AERODROME: EDDS

RTE DIST: 123 FT: 0028

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  
-----

|     |  |    |  |              |    |        |  |          |
|-----|--|----|--|--------------|----|--------|--|----------|
|     |  | 33 |  | 7 CLB        | 42 | 15/009 |  | 1894 ... |
| TOC |  | 90 |  | 0007 150 P13 |    |        |  | 713 ...  |
|     |  |    |  | ../..        |    |        |  |          |

---

|      |                   |    |      |       |     |        |     |          |
|------|-------------------|----|------|-------|-----|--------|-----|----------|
| RSID | N49.19.0E008.28.8 | 18 | T185 | 4     | 42  | 16/012 | 358 | 1769 ... |
| 29   | ANEKI             | 72 |      | 0011  | -02 |        | 348 | 838 ...  |
|      |                   |    |      | ../.. |     |        |     |          |

---

|      |                   |    |      |       |     |        |     |          |
|------|-------------------|----|------|-------|-----|--------|-----|----------|
| Y163 | N49.17.2E008.28.6 | 2  | T185 | 0     | 42  | 15/013 | 358 | 1754 ... |
| 22   | NEKLO             | 70 |      | 0011  | -02 |        | 348 | 853 ...  |
|      |                   |    |      | ../.. |     |        |     |          |

---

|      |                   |    |      |       |     |        |     |          |
|------|-------------------|----|------|-------|-----|--------|-----|----------|
| Y171 | N49.09.0E008.36.5 | 9  | T148 | 2     | 42  | 15/013 | 358 | 1680 ... |
| 40   | INKAM             | 61 |      | 0013  | -02 |        | 346 | 927 ...  |
|      |                   |    |      | ../.. |     |        |     |          |

---

|     |  |    |        |       |     |    |        |         |          |
|-----|--|----|--------|-------|-----|----|--------|---------|----------|
|     |  |    | 8 T186 | 1     | DES | 42 | 15/013 | 358     | 1620 ... |
| TOD |  | 53 |        | 0014  | -02 |    | 348    | 987 ... |          |
|     |  |    |        | ../.. |     |    |        |         |          |

---

|      |                   |       |    |       |  |        |  |          |
|------|-------------------|-------|----|-------|--|--------|--|----------|
| Z729 | N48.54.8E009.20.4 | 32    |    | 6 DES |  | 14/011 |  | 1546 ... |
| 35   | LBU               | 109.2 | 21 | 0020  |  |        |  | 1061 ... |
|      |                   |       |    | ../.. |  |        |  |          |

---

|  |         |    |  |      |  |        |  |          |
|--|---------|----|--|------|--|--------|--|----------|
|  |         | 21 |  | 8    |  | 14/009 |  | 1400 ... |
|  | EDDS/25 | 0  |  | 0028 |  |        |  | 1207 ... |

../..

-----  
2ND DESTINATION ALTERNATE AERODROME: EDDK

RTE DIST: 163 FT: 0036

FLIGHT PLAN ROUTE

-EDDF/25L OBOKA1G OBOKA EDDK/14L  
-----

| AWY  | POSITION | DIST | TRK | TIME | LVL | TP | W/V | TAS | RFU/ACT |
|------|----------|------|-----|------|-----|----|-----|-----|---------|
| MORA |          |      |     |      |     | T  |     | GS  | USED/.. |

-----

EDDF/25L A/B  
-----

|     |  |    |  |      |     |     |        |  |          |
|-----|--|----|--|------|-----|-----|--------|--|----------|
|     |  | 84 |  | 18   | CLB | 42  | 16/004 |  | 1748 ... |
| TOC |  | 79 |  | 0018 | 160 | P13 |        |  | 1199 ... |

../..

-----

|      |                   |    |      |      |  |     |        |     |          |
|------|-------------------|----|------|------|--|-----|--------|-----|----------|
| RSID | N50.15.3E007.44.3 | 5  | T309 | 1    |  | 42  | 17/012 | 358 | 1730 ... |
| 35   | MASIR             | 74 |      | 0019 |  | -04 |        | 365 | 1217 ... |

../..

-----

|      |                   |    |      |      |  |     |        |     |          |
|------|-------------------|----|------|------|--|-----|--------|-----|----------|
| RSID | N50.21.7E007.39.9 | 7  | T336 | 1    |  | 42  | 18/012 | 358 | 1681 ... |
| 33   | RAVKI             | 67 |      | 0020 |  | -04 |        | 369 | 1266 ... |

../..

-----

|  |  |   |      |   |     |    |        |     |          |
|--|--|---|------|---|-----|----|--------|-----|----------|
|  |  | 6 | T336 | 1 | DES | 43 | 18/013 | 358 | 1640 ... |
|--|--|---|------|---|-----|----|--------|-----|----------|

TOD 61 0021 -04 369 1307 ...  
..../..

-----  
RSID N50.44.7E007.20.3 20 4 DES 17/013 1590 ...  
27 OBOKA 40 0025 1357 ...  
..../..

-----  
41 11 17/012 1400 ...  
EDDK/14L 0 0036 1547 ...  
..../..

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

FF EUCHZMFP EUCBZMFP

EDDFCTNX

(FPL-NIKOLIN-IS

-A320/M-SDE2FGIJ1RWY/LB1

-LDZA1200

-N0461F360 OBUTI DCT SUBEN T161 SPESA SPESA1L

-EDDF0056 EDDS

-PBN/B2B3B4B5D1S2 DOF/200914 REG/9ACTJX EET/LJLA0008 LOVV0012

EDUU0030 EDGG0048 CODE/501D1F OPR/CTN PER/C TALT/LJLJ RVR/075

RMK/24 HOUR CONTACT +385 1 6164 522)

Izvor: Program *LIDO Croatia Airlines-a*

## 6. Zaključak

Zrakoplov A320 najuspješniji je uskotrupni putnički zrakoplov kratkog do srednjeg doleta. Hrvatski nacionalni zračni prijevoznik *Croatia Airlines* u svojoj floti ima dva zrakoplova A320 – 214 (9A-CTJ, 9A-CTK).

Zbog optimizacije operacija zrakoplova te operativnih i financijskih ušteda u zrakoplove je 2020. godine uveden program *FlySmart*. *FlySmart* je dostupan za sve Airbus zrakoplove s tehnologijom *fly-by-wire* i koristi se za proračun performansi polijetanja i slijetanja.

Prikaz proračuna performansi pomoću sustava *FlySmart* rađen je na primjeru rute Zagreb – Frankfurt pomoću zrakoplova A320-214 (9A-CTJ). Promjenom nekog od uvjeta mijenja se maksimalna težina zrakoplova u polijetanju (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW) i slijetanju (engl. *Maximum Landing Weight* – MLW), brzina te potrebna duljina uzletno – sletne staze. No, nije nužno da promjena nekog od navedenih uvjeta utječe na sve parametre. Najveća maksimalna težina zrakoplova u polijetanju (engl. *Maximum Take-Off Weight* – MTOW) je za zrakoplov A320-214 na zračnoj luci Zagreb pri uvjetima kada je klimatizacija putničke kabine (engl. AIR COND) isključena. Klimatizacija “uzima” zrak s motora te motor radi manjom snagom, ukoliko se klimatizacija isključi snaga motora je veća, a samim time i maksimalna težina zrakoplova. Najveća maksimalna težina zrakoplova u slijetanju (engl. *Maximum Landing Weight* – MLW) na zračnoj luci Frankfurt je pri višoj temperaturi od standardne. Što je temperatura viša, manja je maksimalna dopuštena težina zrakoplova i obrnuto. Najveća potrebna duljina uzletno – sletne staze za zaustavljanje je u uvjetima kada je prisutan repni vjetar. Najveće brzine su prisutne kada je uključen sustav protiv zaleđivanja (engl. A-ICE).

Optimalna ruta leta proračunava se pomoću sustava *LIDO* te omogućuje praćenje potrošnje goriva zrakoplova na cijeloj ruti. Ovaj program koristi se za svaki let *Croatia Airlines*-a.

Sustav *LIDO* unosom polazišne i odredišne zračne luke, izračunao je rutnu udaljenost između Međunarodne zračne luke Zagreb i zračne luke Frankfurt koja iznosi 440 nm. Optimalna brzina koja se koristi na ruti je ekonomična brzina (ECON). Sustav na rutu ucrtava i alternativne zračne luke za polijetanje i slijetanje. Ukupno gorivo (engl. *Trip Fuel* - TF) potrebno na zadanoj ruti na temelju uvjeta Međunarodne standardne atmosfere (engl. *International Standard Atmosphere* - ISA) iznosi 3.076 kg, a vrijeme leta je 1 sat i 9 minuta. Brzina zrakoplova u krstarenju iznosi 459 kts na razini leta (engl. Flight Level – FL) 360.

Zaključno, na letne značajke zrakoplova utječe promjena atmosferskih uvjeta (gustoća, temperatura, tlak) te vjetar, težina zrakoplova, količina goriva, korištenje klimatizacije i sustava za zaleđivanje. Temperatura na maksimalnu dopuštenu težinu/masu zrakoplova utječe obrnuto proporcionalno, dok tlak zraka na maksimalnu dopuštenu masu zrakoplova utječe proporcionalno. Topliji zrak ima manju gustoću, a performanse zrakoplova su bolje prilikom gušćeg zraka odnosno na nižim temperaturama. U svrhu ostvarivanja optimalnih performansi zrakoplova koriste se navedeni sustavi za proračun.



## Literatura

1. Airbus. FlySmart with Airbus, Blagnac, 2019.
2. Airbus. Getting to Grips with Aircraft Performance. Blagnac: Airbus SE; 2002.
3. CTN. A318/A319/A320/A321 FLEET FCOM, Zagreb, 2020.
4. CTN. A320 – Aircraft Characteristics – Airport and Maintenance Planning, Zagreb, 2020.
5. CTN. A3F - Aircraft Performance – Flight Planning, Zagreb, 2019.
6. CTN. Operations Manual Part B., Chapters 0-12 Aircraft Operating Matters, ISSUE II, Revision No.27, Zagreb, 2020.
7. Pavlin S. Aerodromi 1. Zagreb: FPZ; 2006.
8. Pavlin S. Aerodromi 2. Zagreb: FPZ; 2014.
9. Radačić Ž, Suić I, Škurla Babić R. Tehnologija zračnog prometa 1. Zagreb: FPZ; 2008.
10. Vidović A. Elementi stabilnosti i upravljivosti zrakoplova. Zagreb: FPZ; 2010.
11. Enciklopedija. <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=67451>  
[Pristupljeno: kolovoz 2020.]
12. Enciklopedija. Preuzeto sa: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=4464>  
[Pristupljeno: kolovoz 2020.]
13. Portal Avioradar. <https://avioradar.hr/index.php/hr/hrvatska/2243-povijesni-let-croatia-airlinesa-ctn-leti-za-kinu> [Pristupljeno: rujan 2020.]
14. Službena stranica Airbus-a. <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a320-family.html> [Pristupljeno: rujan 2020.]
15. Službena stranica Croatia Airlines-a. <https://www.croatiaairlines.com/hr/O-nama/Korporativne-informacije/flota/Airbus-A-320-200/> [Pristupljeno: rujan 2020.]
16. Službena stranica LHS Sistema. <https://www.lhsystems.com/solutions-services/operations-solutions/lidoflightplanning/lidofpls> [Pristupljeno: rujan 2020.]

## Popis slika

|   |    |
|---|----|
| Slika 1: Podjela atmosfere prema promjeni temperature s visinom.....  | 4  |
| Slika 2: Sile koje djeluju na zrakoplov u ustaljenom horizontalnom letu .....   | 11 |
| Slika 3: Sile koje djeluju na zrakoplov u penjanju .....  | 15 |
| Slika 4: Sile koje djeluju na zrakoplov u poniranju .....   | 16 |
| Slika 5: Sile koje djeluju na zrakoplov u polijetanju .....   | 18 |
| Slika 6: Faze slijetanja.....   | 23 |
| Slika 7: Uzletno - sletna staza .....   | 27 |
| Slika 8: Zrakoplov A320 .....   | 29 |
| Slika 9: Putnička kabina zrakoplova A320-214 .....  | 31 |
| Slika 10: Load and Trim Sheet za A320-214 Croatia Airlines-a .....  | 36 |
| Slika 11: <i>FlySmart</i> sučelje za odabir uzletno - sletne staze.....   | 40 |
| Slika 12: <i>FlySmart</i> sučelje koje prikazuje odabranu uzletno - sletnu stazu .....  | 41 |
| Slika 13: <i>FlySmart</i> sučelje koje prikazuje prepreke .....   | 41 |
| Slika 14: <i>FlySmart</i> sučelje s upozorenjem.....  | 42 |
| Slika 15: <i>FlySmart</i> sučelje s rezultatima proračuna.....  | 43 |
| Slika 16: <i>FlySmart</i> sučelje s rezultatima proračuna.....  | 44 |
| Slika 17: <i>FlySmart</i> sučelje s rezultatima proračuna.....  | 44 |
| Slika 18: <i>FlySmart</i> sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb na temelju ISA uvjeta .....              | 48 |
| Slika 19: <i>FlySmart</i> sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb na temelju uvjeta s repnim vjetrom ..... | 49 |
| Slika 20: <i>FlySmart</i> sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb na temelju uvjeta s leđnim vjetrom ..... | 50 |
| Slika 21: <i>FlySmart</i> sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb uz uvjet OAT 35 °C .....                 | 51 |
| Slika 22: <i>FlySmart</i> sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb uz uvjet OAT -10 °C .....                | 52 |
| Slika 23: <i>FlySmart</i> sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb uz uvjet QNH 1025 hPa .....              | 53 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 24: <i>FlySmart</i> sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb uz uvjet QNH 990 hPa .....           | 54 |
| Slika 25: <i>FlySmart</i> sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb uz uvjet AIR COND = off .....        | 55 |
| Slika 26: <i>FlySmart</i> sučelje s proračunima za polijetanje sa Međunarodne zračne luke Zagreb uz uvjet A-ICE = Engine & Wing ..... | 56 |
| Slika 27: <i>FlySmart</i> sučelje s proračunima za slijetanje sa Zračne luke Frankfurt na temelju ISA uvjeta .....                    | 58 |
| Slika 28: <i>FlySmart</i> sučelje s proračunima za slijetanje sa Zračne luke Frankfurt na temelju uvjeta OAT 35 °C.....               | 59 |
| Slika 29: <i>FlySmart</i> sučelje s proračunima za slijetanje sa Zračne luke Frankfurt na temelju uvjeta OAT -10 °C.....              | 60 |
| Slika 30: <i>FlySmart</i> sučelje s proračunima za slijetanje sa Zračne luke Frankfurt na temelju uvjeta QNH = 1025 hPa.....          | 61 |
| Slika 31: <i>FlySmart</i> sučelje s proračunima za slijetanje sa Zračne luke Frankfurt na temelju uvjeta QNH = 990 hPa.....           | 62 |
| Slika 32: <i>FlySmart</i> sučelje s proračunima za slijetanje sa Zračne luke Frankfurt na temelju uvjeta AIR COND = off.....          | 63 |
| Slika 33: <i>FlySmart</i> sučelje s proračunima za slijetanje sa Zračne luke Frankfurt na temelju uvjeta A-ICE = Engine & Wing .....  | 64 |
| Slika 34: Prikaz elektroničkog izračuna uravnoteženja i opterećenja za A320-214.....  | 66 |
| Slika 35: Prikaz rute Zagreb – Frankfurt.....   | 67 |

## Popis tablica

|  |    |
|--|----|
| Tablica 1: Karakteristike Međunarodne standardne atmosfere .....                           | 6  |
| Tablica 2: Značajke zrakoplova porodice A320 .....   | 28 |
| Tablica 3: Nosivost prtljažnih odjeljaka zrakoplova A320 .....                             | 31 |
| Tablica 4: Tablica za korekciju DOW, DOI .....   | 34 |
| Tablica 5: Vrijednosti korekcijskog index-a.....   | 35 |
| Tablica 6: Prikaz proračunatih parametara u polijetanju pomoću programa <i>FlySmart</i> .. | 57 |
| Tablica 7: Prikaz proračunatih parametara u polijetanju pomoću programa <i>FlySmart</i> .. | 65 |
| Tablica 8: Plan leta izrađen pomoću sustava <i>LIDO</i> .....                              | 70 |
| Tablica 9: Plan leta izrađen pomoću sustava <i>LIDO</i> .....                              | 78 |

## Popis grafikona

|  |    |
|--|----|
| Grafikon 1: Razlozi odbijenog polijetanja .....                                      | 22 |
| Grafikon 2: Potrebna duljina uzletno - sletne staze za A320-214 u ISA uvjetima ..... | 32 |

## Popis kratica

| Kratica        | Značenje  |
|----------------|---|
| <b>ADDFU</b>   | (Additional Fuel) dodatno gorivo  |
| <b>ALD</b>     | (Actual Landing Distance) stvarna duljina uzletno – sletne staze za slijetanje        |
| <b>ASDA</b>    | (Accelerate Stop Distance Available) raspoloživa duljina za ubrzanje i zaustavljanje  |
| <b>ATC</b>     | (Air Traffic Control) kontrola zračnog prometa  |
| <b>AVGE FF</b> | (Average Fuel Flow) proračunati protok goriva   |
| <b>CI</b>      | (Cost Index) index troškova   |
| <b>CLS</b>     | (Cargo Loading System) jedinstveni cargo pretinac                                     |
| <b>CWY</b>     | (Clearway) čistina  |
| <b>DOI</b>     | (Dry Operating Index) suhi operativni index   |
| <b>DOW</b>     | (Dry Operation Weight) suha operativna težina   |
| <b>EDP</b>     | (Electronic Data Process Load Sheet) elektronički izračun uravnoteženja i opterećenja |
| <b>EFB</b>     | (Electronic Flight Bag) skup elektroničkih dokumenata vezanih za zrakoplov            |
| <b>FADEC</b>   | (Full Authority Digital Engine Control) sustav za kontrolu rada motora                |
| <b>FBW</b>     | (fly-by-wire) sustav upravljanja zrakoplovom „preko žice“                             |

|              |   |
|--------------|---|
| <b>FCOM</b>  | (Flight Crew Operating Manual) operativni priručnik za letačku posadu                   |
| <b>FL</b>    | (Flight Level) nivo leta  |
| <b>HD</b>    | (Headwind) čeonni vjetar  |
| <b>ICAO</b>  | (International Civil Aviation Agency) Međunarodna organizacija za civilno zrakoplovstvo |
| <b>ISA</b>   | (International Standard Atmosphere) Međunarodna standardna atmosfera                    |
| <b>LDA</b>   | (Landing Distance Available) raspoloživa duljina za slijetanje                          |
| <b>LTS</b>   | (Load Trim Sheet) lista za izračun opterećenja i uravnoteženja                          |
| <b>LW</b>    | (Landing Weight) težina zrakoplova pri slijetanju                                       |
| <b>MLW</b>   | (Maximum Landing Weight) maksimalna dopuštena težina zrakoplova u slijetanju            |
| <b>MSL</b>   | (Mean Sea Level) srednja razina mora  |
| <b>MTOW</b>  | (Maximum Take-Off Weight) maksimalna dopuštena težina zrakoplova pri polijetanju        |
| <b>NOTAM</b> | (Notice To Airman) zrakoplovna obavijest za letačku posadu                              |
| <b>OAT</b>   | (Outside Air Temperature) vanjska temperatura zraka                                     |
| <b>QNH</b>   | (Sea Level Pressure) trenutni tlak zraka na zračnoj luci                                |
| <b>RLD</b>   | (Required Landing Distance) potrebna duljina uzletno – sletne staze za slijetanje       |
| <b>RWC</b>   | (Runway Weight Chart) tablica za izračun težine zrakoplova                              |

|             |   |
|-------------|---|
| <b>SCAP</b> | (Standardized Computerised Aircraft Performance) standarizirane računalne performanse zrakoplova    |
| <b>SL</b>   | (Sea Level) razina mora   |
| <b>SWY</b>  | (Stopway) zaustavna staza   |
| <b>TF</b>   | (Trip Fuel) ukupno gorivo   |
| <b>TL</b>   | (Tailwind) repni vjetar   |
| <b>TODA</b> | (Take-Off Distance Available) raspoloživa duljina za uzlijetanje                                    |
| <b>TOF</b>  | (Take-Off Fuel Adjustment) gorivo za polijetanje  |
| <b>TOF</b>  | (Take-Off Fuel Adjustment) postupak reguliranja goriva za polijetanje                               |
| <b>TORA</b> | (Take-Off Run Available) raspoloživa duljina za zalet   |
| <b>TTL</b>  | (Total Traffic Load) ukupna težina tereta   |
| <b>ZFW</b>  | (Zero Fuel Weight) ukupna težina zrakoplova sa svim njegovim komponentama umanjenu za težinu goriva |





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 Utjecaj promjene atmosferskih uvjeta na letne značajke zrakoplova  
A320

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

Student/ica:

U Zagrebu, 9/5/2020

\_\_\_\_\_  
(potpis)