

# Proces planiranja komercijalnog leta zrakoplova

---

**Pakšec, Andrej**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:746541>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-04**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **DIPLOMSKI RAD**

### **PROCES PLANIRANJA KOMERCIJALNOG LETA ZRAKOPLOVA**

### **FLIGHT PLANNING PROCESS OF A COMMERCIAL FLIGHT**

Mentor: prof. dr. sc. Biljana Juričić

Student: Andrej Pakšec  
JMBAG: 0135231121

Zagreb, veljača 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
**POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT**

Zagreb, 25. svibnja 2023.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**  
Predmet: **Upravljanje kapacitetom i protokom zračnog prometa**

**DIPLOMSKI ZADATAK br. 7359**

Pristupnik: **Andrej Pakšec (0135231121)**  
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Proces planiranja komercijalnog leta zrakoplova**

Opis zadatka:

Uvodno navesti cilj i strukturu rada. Identificirati i objasniti strukturalna ograničenja zrakoplova. Analizirati utjecaj meteoroloških uvjeta na performanse leta zrakoplova. Razlikovati aerodrome opsluživanja te objasniti postupak odabira adekvatnih alternativnih aerodroma. Analizirati podatke o performansama zrakoplova. Izraditi operativne planove leta za odabranu rutu. Izraditi loadsheet. Usporediti podatke za različite planove leta. Dati zaključna razmatranja.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

izv. prof. dr. sc. Biljana Juričić

## **Zahvale**

*Ovaj diplomski rad izrađen je pod stručnim vodstvom prof. dr. sc. Biljane Juričić kojoj se ovom prilikom zahvaljujem na svojoj podršci, savjetima te stručnoj pomoći.*

*Zahvaljujem se i svim ljudima iz struke koji su nesebično izdvojili svoje vrijeme, resurse, i znanje kako bi mi pomogli u istraživačkom dijelu ovoga rada.*

## SAŽETAK

Kako bi se ostvarila maksimalna sigurnost, pouzdanost, i učinkovitost komercijalnog letenja, analiza aerodroma opsluživanja, rute te meteoroloških uvjeta i performansi zrakoplova jedan su od najbitnijih faktora u procesu izvođenja letačkih operacija. U postupku planiranja leta često se susrećemo s nizom ograničavajućih čimbenika koji diktiraju mogućnosti zrakoplova u vidu maksimalne nosivosti ili dometa zrakoplova u određenim meteorološkim uvjetima. Zbog svega navedenog, planiranje leta te analiza performansi od izuzetno su velikog značaja prije svakog leta, što je i predmet ovog rada. Također, svrha istraživanja je analizirati i usporediti mogućnosti eksploatacije određenog tipa zrakoplova u različitim godišnjim dobima, odnosno, meteorološkim uvjetima kod opsluživanja određenih aerodroma, na određenoj ruti. U radu će biti prikazan cjelokupan proces analize aerodroma opsluživanja, rute te performansi i potencijalnih ograničavajućih faktora zrakoplova u izvršavanju komercijalnih letačkih operacija. Analize performansi zrakoplova, kao i mogućnosti eksploatacije u vidu potrošnje goriva, maksimalne nosivosti i dometa biti će računane specijaliziranim računalnim programima.

**KLJUČNE RIJEČI:** operativni plan leta; strukturalna ograničenja; meteorološki uvjeti; adekvatni aerodromi; performanse; loadsheet; ruta

## SUMMARY

The analysis of airports being operated, routings, as well as the meteorological conditions and aircraft performances is one of the most important factors in the process of flight operations in order to achieve the maximum safety, reliability, and efficiency of commercial flights. In the process of flight planning we often meet a series of limiting factors dictating the level of aircraft's ability in the form of a maximum load capacity or maximum range in a given meteorological conditions. Due to all of this the flight planning and the performance analysis are a crucial part of every flight and that is the subject of this work. Also, the point of this research is to analyze and compare the possibilities of aircraft exploitation in different seasons of the year, meaning different meteorological conditions while operating adequate airports within a given route. In this paper will be shown the whole process of airport and route evaluation, as well as aircraft's performance and potential limiting factors analysis in different conditions for commercial flight operations. Aircraft's performance analysis and abilities in form of fuel consumption, maximum load and range capability will be calculated using specialized computer programs.

**KEYWORDS:** operational flight plan; structural limitations; meteorological conditions; adequate airports; performance; loadsheet; route

# SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Strukturalna ograničenja zrakoplova.....	2
2.1. Mase zrakoplova ograničene mogućnostima strukture i performansama .....	3
2.1.1. Planiranje goriva.....	5
2.1.2. Pojmovi dopuštenih masa zrakoplova.....	6
2.2. Pozicija centra težišta .....	8
2.3. Utjecaj mase zrakoplova na njegove performanse .....	9
3. Utjecaj meteoroloških uvjeta na performanse zrakoplova.....	10
3.1. Sastav, dimenzije, i vertikalna podjela atmosfere .....	10
3.2. Meteorološke pojave značajne za planiranje leta .....	11
3.2.1. Vlažnost i oborine.....	12
3.2.2. Stvaranje leda.....	14
3.2.3. Vjetar .....	16
3.3. Meteorološke informacije za planiranje leta .....	19
4. Aerodromi opsluživanja i odabir adekvatnih alternativnih aerodroma.....	22
4.1. Analize aerodroma.....	23
4.1.1. Innsbruck Airport (LOWI; INN) .....	24
4.1.2. Queen Alia International Airport (OJAI; AMM).....	25
4.2. Odabir alternativnih aerodroma .....	27
4.2.1. Alternativni aerodrom destinacije.....	27
4.2.2. Alternativni aerodrom uzlijetanja .....	28
4.2.3. Alternativni aerodrom na ruti .....	29
5. Analiza podataka o performansama zrakoplova.....	29
5.1. Performanse kod uzlijetanja.....	29
5.1.1. Brzine kod uzlijetanja .....	30
5.1.2. Ograničenja uzletno-sletne staze.....	30
5.1.3. Performanse kod penjanja i nadvisivanja prepreka .....	31
5.1.4. Utjecaj vanjskih čimbenika na performanse .....	32
5.2. Performanse kod slijetanja.....	33
5.2.1. Brzine i ograničenja uzletno-sletne staze kod slijetanja .....	33

5.3. Analiza podataka o performansama.....	34
6. Izrada i usporedba operativnih planova leta.....	49
6.1. Usporedba operativnih planova leta.....	50
7. Izrada „loadsheetsa“ .....	66
8. Zaključak.....	69
Popis literature.....	70
Popis slika.....	74
Popis tablica.....	75

# 1. Uvod

Planiranje leta u komercijalne svrhe složen je i neizostavan proces prije svakog leta kako bi se osigurala maksimalna razina sigurnosti, pouzdanosti te efikasnosti letačkih operacija.

Predmet ovog diplomskog rada jest u potpunosti prikazati i analizirati cjelokupan postupak planiranja leta zrakoplova u komercijalne svrhe. Temu relevantnom čine brojni ograničavajući čimbenici s kojima se susreće kod planiranja letačkih operacija, a o kojima ovise mogućnosti eksploatacije zrakoplova. Neki od čimbenika su strukturalna ograničenja zrakoplova, trenutno dostupne rute, performanse zrakoplova, meteorološki uvjeti te mogućnosti i karakteristike aerodroma opsluživanja.

Rad je podijeljen u sljedeće cjeline:

1. Uvod
2. Strukturalna ograničenja zrakoplova
3. Utjecaj meteoroloških uvjeta na performanse zrakoplova
4. Aerodromi opsluživanja i odabir adekvatnih alternativnih aerodroma
5. Analiza podataka o performansama zrakoplova
6. Izrada i usporedba operativnih planova leta
7. Izrada „*loadsheets*“
8. Zaključak

Kako bi jasno i sistematski obradili tematiku planiranja komercijalnog leta potrebno je upoznati se s unaprijed definiranim parametrima, odnosno, mogućnostima samog zrakoplova u vidu strukturalnih ograničenja čime su prvenstveno definirane maksimalne mogućnosti eksploatacije zrakoplova. Strukturalna ograničenja biti će obrađena u drugom dijelu rada.

Nakon upoznavanja sa strukturalnim ograničenjima zrakoplova važno je razumjeti utjecaj meteoroloških uvjeta na let zrakoplova i njegove performanse. Performanse podrazumijevaju spektar mogućnosti zrakoplova prilikom uzlijetanja i slijetanja s određene uzletno sletne staze i uvelike su ovisne o trenutnim uvjetima atmosfere.

U četvrtom dijelu rada prikazati će se postupak evaluacije aerodroma opsluživanja i alternativnih aerodroma s njihovim karakteristikama u svrhu provjere ispunjavanja uvjeta potrebnih za odrađivanje komercijalnog leta određenog tipa zrakoplova.

Peti dio rada biti će posvećen analizi podataka o performansama uzlijetanja i slijetanja zrakoplova za određene uzletno-sletne staze u određenim meteorološkim uvjetima. Analiza performansi potrebna je kako bi se definirale i istražile razlike u mogućnostima zrakoplova za različita godišnja doba, a time i meteorološke uvijete pod kojima bi se letenje odvijalo.



Nakon što završimo s provjerom svih ograničavajućih čimbenika, potrebno je prijaviti letove izradom operativnih planova leta i njihovim slanjem na definirane AFTN („*Aeronautical Fixed Telecommunication Network*“) adrese. Šesti će dio rada biti usredotočen na ispunjavanje operativnih planova leta i njihovu usporedbu kako bi istražili konačne razlike u mogućnostima eksploatacije zrakoplova na definiranim rutama.

U sedmom dijelu rada biti će objašnjena važnost i uloga izrade „*loadsheets*“ komercijalnog zrakoplova s parametrima definiranim u prijašnjem dijelu rada.

Posljednji, osmi dio rada – Zaključak, biti će posvećen sažimanju i rezimiranju cjelokupne tematike te analize i usporedbe koja predstavlja jezgru ovog diplomskog rada.

## **2. Strukturalna ograničenja zrakoplova**

Znanje o strukturalnim ograničenjima zrakoplova te poštivanje istih, kao i poštivanje „*weight and balance*“ ograničenja zrakoplova od ključne je važnosti za sigurnost komercijalnog leta. Izvođenje leta s parametrima masa koji su iznad dopuštenih maksimalnih vrijednosti uvelike kompromitira strukturalni integritet zrakoplova i ima negativan učinak na njegove performanse.

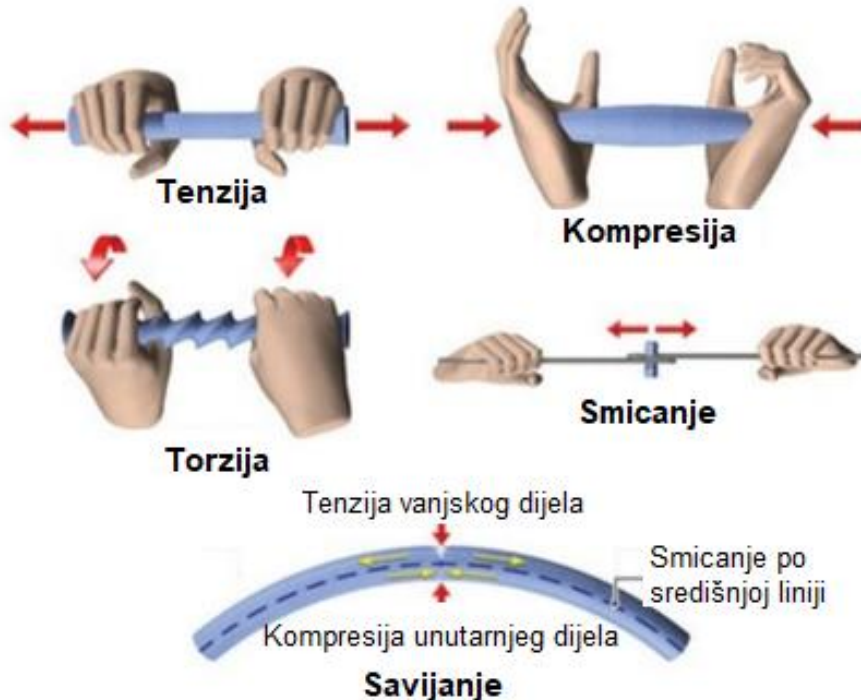
Planiranje leta u skladu sa strukturalnim ograničenjima zrakoplova te pravilna „*weight and balance*“ kontrola osigurava zrakoplovu u letu da sigurno operira, odnosno, pravilan i očekivan odaziv na inpute pilota prema kontrolnim površinama te samim time i izvođenje uzlijetanja i slijetanja s minimalnim rizikom.

Na zrakoplov u letu djeluje sila gravitacije, uzgon, potisak, i sila otpora. Sila gravitacije, odnosno, težina zrakoplova ima velik utjecaj prilikom konstruiranja i letenja zrakoplova i zato zahtjeva pažnju svih sudionika kod planiranja letačkih operacija. Sila gravitacije kontinuirano vuče zrakoplov prema zemlji. Uzgon je sila koja se suprotstavlja gravitacijskoj sili, odnosno, težini zrakoplova i održava ga u letu. Količina uzgona proizvedena krilima i njihovim aeroprofilima ograničena je dizajnom aeroprofila, napadnim kutom, brzinom, i gustoćom zraka. Kako bi bili sigurni da je ostvareni uzgon dovoljan kako bi se suprotstavio težini i održao zrakoplov u letu, bitan je uvjet da se kod kombinacije utovara putnika, prtljage, i tereta te točenja goriva ne probije neka od maksimalnih vrijednosti masa propisanih od strane proizvođača zrakoplova. U protivnom se dovodimo u situaciju u kojoj će zrakoplov potencijalno biti pretežak za uzlijetanje, slijetanje, ili nadvisivanje prepreka u penjanju. Iako su strukturalna ograničenja i ograničenja uzrokovana maksimalnim dopuštenim masama propisanim od strane proizvođača uvijek prisutna, zrakoplov je često ograničen i drugim čimbenicima koji ne ovise isključivo karakteristikama zrakoplova, već predstavljaju kombinaciju uzletno-sletne staze,

meteoroloških uvjeta i performansi zrakoplova, no ta će tema biti obrađena u narednim poglavljima ovog rada.

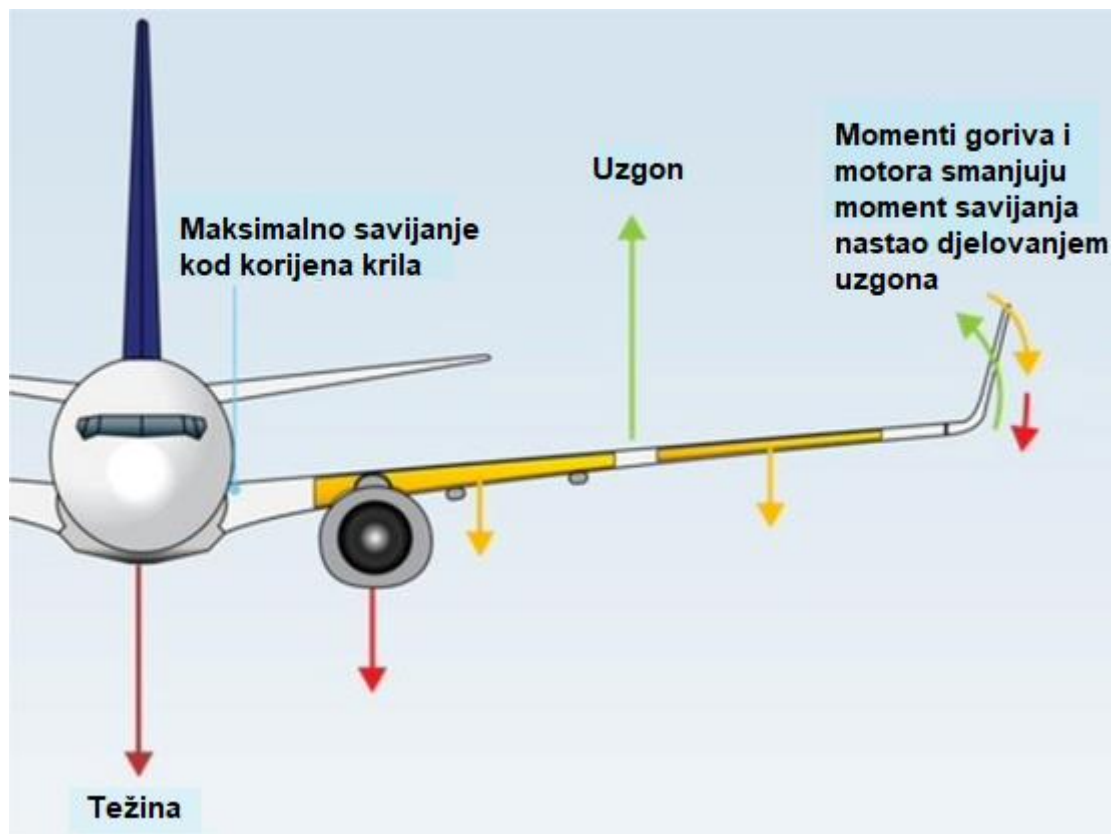
## 2.1. Mase zrakoplova ograničene mogućnostima strukture i performansama

Strukturalne karakteristike zrakoplova određuju opterećenja koja on može pretrpjeti prije nastanka ultimativnog stresa, koji predstavlja razinu stresa pri kojoj dolazi do preopterećenja i pucanja strukture prilikom djelovanja određene sile. Neke od sila koje djeluju na strukturu zrakoplova su tenzija, kompresija, torzija, smicanje. Na strukturu može djelovati i kombinacija sila, primjer za to je savijanje. Prilikom savijanja elemenata strukture zrakoplova s unutarnje strane dolazi do kompresije materijala, dok s vanjske strane dolazi do pojave tenzije, odnosno, rastezanja materijala, a u središtu se pojavljuje smicanje. Također, zamor materijala dodatna je opasnost za strukturu zrakoplova, a predstavlja kumulativnu štetu koja prilikom dolaska do određene razine dovodi strukturu u situaciju gdje se ona može preopteretiti i puknuti prilikom izloženosti stresu koji je ispod vrijednosti njenog ultimativnog stresa [1]. Slika broj 1 prikazuje vrste sila koje mogu djelovati i na strukturu zrakoplova. [2]



Slika 1. Vrste sila koje djeluju na strukturu zrakoplova (adaptirao autor) [2]

S obzirom da su krila zrakoplova glavne površine s kojih se generiraju sile uzgona zbog njihovih aeroprofila te potiska čiji su izvor motori smješteni na krilima, a trup zrakoplova dio u čijem se području nalazi centar težišta, maksimalno se opterećenje nalazi na njihovom spoju – korijenu krila. Slika broj 2 prikazuje raspored sila i momenata uzduž lateralne osi zrakoplova [3]. Kako prilikom djelovanja opterećenja ne bi došlo do postizanja ultimativnog opterećenja, proizvođač svakog zrakoplova odredio je granicu dopuštenog opterećenja koja se naziva i „*limit load*“. „*Limit load*“ je odvojen od „*ultimate load*“ faktorom 1.5, odnosno, kada se dosegne „*limit load*“ zrakoplov bi trebao moći pretrpjeti još 50% od ukupnog opterećenja prije nego bi došlo do otkaza materijala i strukture koju čini. [1]



Slika 2. Raspored sila i momenata uzduž lateralne osi (adaptirao autor) [3]

Kako bi proces planiranja komercijalnog leta mogao biti izvršen u potpunosti ispravno, nužno je znanje o podijeli potrebnih tipova goriva u vidu količine goriva koju je zrakoplov obavezan nositi za određeni let, kao i znanje o predefiniranim masama zrakoplova ograničenim njegovim mogućnostima strukture i performansama.

### 2.1.1. Planiranje goriva

Uz naravno, „*payload*“, gorivo je čimbenik koji često zauzima izuzetno velik dio mase zrakoplova te samim time i diktira moguća ograničenja u vidu cjelokupne nosivosti kojom zrakoplov raspolaže za određeni let. Ukupan iznos goriva na zrakoplovu prije početka leta naziva se „*Total*“, „*Ramp*“, ili „*Block Fuel*“, a ono se sastoji od „*Taxi fuel*“, „*Trip fuel*“, „*Contingency fuel*“, „*Alternate fuel*“ ili „*Diversion fuel*“, „*Final reserve fuel*“, „*Additional fuel*“, „*Extra fuel*“, i „*Discretion fuel*“. [4]

„*Taxi fuel*“ je gorivo za koje se očekuje da će se potrošiti prije uzlijetanja. „*Taxi fuel*“ uključuje gorivo potrebno za potrošnju APU-a („*Auxiliary Power Unite*“), startanje motora, i za samo taksiranje od stajanke do uzletno-sletne staze. Procjena količine „*taxi fuel*“ goriva za komercijalni zrakoplov srednjih dimenzija, kao što je Airbus A320 iznosi 200 kg.

„*Trip fuel*“ je količina goriva izračunata kao potrebna od točke otpuštanja kočnica pred uzlijetanje na polaznom aerodromu do „*touchdown*“ točke na uzletno-sletnoj stazi aerodroma destinacije. Dakle, „*trip fuel*“ uključuje gorivo potrebno za uzlijetanje, penjanje do visine krstarenja, let u vertikalnoj i horizontalnoj ravnini predviđen planom leta uključujući stepenasta penjanja i snižavanja visine leta sve od početka leta do snižavanja visine zbog prilaza, prilaz na slijetanje, i slijetanje na aerodrom destinacije.

„*Contingency fuel*“ predstavlja količinu goriva koja bi se potencijalno mogla utrošiti na nepredviđene devijacije na ruti te dodatnu kompenzaciju za potrošnju prouzročenu vjetrom prilikom tih devijacija. Prema ICAO Annexu 6, preporučena minimalna količina „*contingency fuel*“ goriva je ono veće između 5% „*trip fuel*“ goriva i pet minuta potrošnje goriva na visini od 1500 ft iznad elevacije aerodroma destinacije izračunata uzevši u obzir masu zrakoplova u vrijeme dolaska. U određenim se slučajevima „*contingency fuel*“ količina smije reducirati na samo 3% „*trip fuel*“ goriva, ali tada je neophodno planirati let s odabirom „*Enroute Alternate Airport*“ (ERA) aerodroma, a on predstavlja alternativni aerodrom koji se nalazi unutar određenog područja definiranog kriterijem udaljenosti od rute. [4]

„*Alternate fuel*“ je gorivo koje je potrebno u slučaju odlaska na alternativni aerodrom. Ono pokriva fazu leta od „*Missed approach*“ točke pa do slijetanja na alternativni aerodrom. Ta faza leta obuhvaća cjelokupnu „*missed approach*“ proceduru na aerodromu destinacije, penjanje do visine leta predviđene operativnim planom leta za krstarenje do aerodroma alternacije, samo krstarenje te snižavanje visine, prilaz na slijetanje, i slijetanje na alternativni aerodrom. U kasnijem poglavlju rada biti će obrađene situacije u kojima je potrebno let planirati s dva alternativna aerodroma, a u tom je slučaju „*alternate fuel*“ količina goriva koja pokriva fazu leta do alternacije koja je više udaljena od aerodroma destinacije.

„*Final reserve fuel*“ je količina goriva potrebna za let u trajanju od 30 minuta na visini od 1500 ft iznad elevacije alternativnog aerodroma, ili u slučaju u kojemu

alternativni aerodrom nije potreban, let iznad aerodroma destinacije pri brzini „*holdinga*“ u uvjetima internacionalne standardne atmosfere – ISA („*International Standart Atmosphere*“).

„*Additional fuel*“ predstavlja količinu goriva koju dodaje zrakoplovna kompanija, a zbog poštivanja određenih specifičnih zahtjeva kao što je povećanje potrošnje zbog aktivnog MEL-a („*Minimum Equipment List Item*“).

„*Extra fuel*“ je gorivo koje se uzima u slučajevima kada se očekuju kašnjenja ili ostala specifična ograničenja koja bi potencijalno mogla imati negativan učinak na potrošnju goriva.

„*Discretion fuel*“ uključuje gorivo koje operativni kapetan uzima na vlastitu diskreciju i ono se ne smatra dijelom minimalne planirane količine goriva za određeni let.

### 2.1.2. Pojmovi različitih masa zrakoplova

Naravno, najprije u cilju sigurnog, ali zatim i efikasnog izvođenja komercijalnog leta nužni su precizni izračuni i kontrola dopuštenih masa zrakoplova. U slučaju opsluživanja aerodroma i ruta čija kombinacija svojim karakteristikama ne stvara ograničenja za zrakoplov, dopuštene mase zrakoplova su one koje predstavljaju jedan aspekt ograničenja s kojima se posada i dispečeri susreću kod planiranja komercijalnih letačkih operacija. One često diktiraju količinu „*payloada*“ i/ili goriva kojima zrakoplov smije biti opterećen i može raspolagati.

Kod masa zarkoplova neki od najvažnijih pojmova su: „*Basic Empty Mass*“, „*Variable Load*“, „*Dry Operating Mass*“, „*Traffic Load*“, „*Useful Load*“, „*Payload*“, „*Zero Fuel Mass*“, „*Operating Mass*“, „*Ramp Mass*“, „*Maximum Take-Off Mass*“, „*Maximum Landing Mass*“. [5]

„*Basic empty mass*“ je masa koja uključuje osnovnu opremu zrakoplova, iskoristivo gorivo, ulje motora, aparate za gašenje požara, pirotehniku, kisik za hitne slučajeve, i dodatnu elektroničku opremu. [5]

„*Variable load*“ je masa posade i operativnih stavki kao što su prtljaga posade, oprema koju je moguće ukloniti, oprema za katering, oprema za opsluživanje putnika, hrana i piće, prijenosna voda, kemikalije za zahode. [5]

„*Dry operating mass*“ definirana je zbrojem „*basic empty mass*“ i „*variable load*“ masa. [5]

„*Traffic load*“ označava masu putnika i kargo tereta, uključujući prtljagu putnika, specijaliziranu ručnu opremu i balast, rezervne dijelove zrakoplova te posadu koja je na letu zbog pozicioniranja, odnosno, nije operativna. [5]

„Useful load“ označava zbroj masa „traffic load“ mase, mase iskoristivog goriva, i mase iskoristivog ulja na zrakoplovu. [5]

„Payload“ obuhvaća mase putnika i njihove prtljage te kargo tereta, odnosno ukupan zbroj svih tereta čiji je prijevoz naplaćen od strane aviokompanije.

„Zero fuel mass“ definirana je zbrojem masa „dry operating mass“ i „traffic load“. Također, još jedan način za izračunati „zero fuel mass“ je od ukupne mase zrakoplova pripremljenog za let („All up mass“) oduzeti masu iskoristivog goriva. [5]

„Operating mass“ zbroj je masa iskoristivog goriva i „dry operating mass“ mase. [5]

„Ramp mass“ predstavlja cjelokupnu masu zrakoplova spremnog za let u trenutku prije pokretanja motora.

„Takeoff mass“ je masa zrakoplova prije otpuštanja kočnica pred uzlijetanje, odnosno, „ramp mass“ masa oduzeta za masu količine goriva potrebnog za taksiranje.

„Landing mass“ je masa koju zrakoplov ima u trenutnu slijetanja na aerodrom destinacije.

Slika broj 3 predstavlja vizualni prikaz pojmova različitih pojmova masa zrakoplova. [6]



Slika 3. Vizualni prikaz različitih pojmova masa zrakoplova (adaptirao autor) [6]

## 2.2. Pozicija centra težišta

Pozicija centra težišta na longitudinalnoj osi zrakoplova diktirati će stabilnost i upravljivost tijekom leta. Centar težišta je točka na kojoj je zbroj svih momenata koji djeluju na zrakoplov jednak nuli. Pozicija centra težišta mora se nalaziti između prednjeg i stražnjeg stajnog trapa. Prilikom računanja maksimalne prednje te maksimalne stražnje pozicije centra težišta, potrebno je uzeti u obzir nosivost prednjeg, odnosno, stražnjeg ili glavnog stajnog trapa pri najvećoj dopuštenoj masi za uzlijetanje.

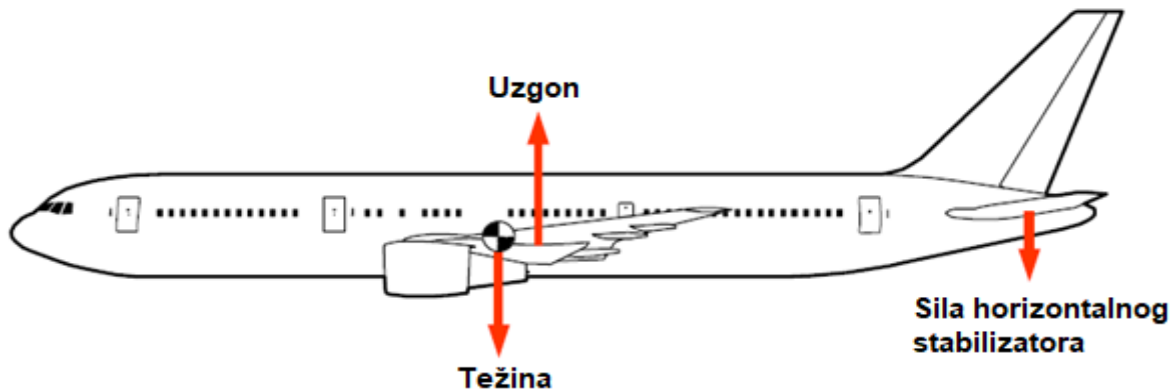
Uz centar težišta, bitan pojam je i centar potiska. Centar potiska označava točku na longitudinalnoj osi zrakoplova, odnosno, na tetivi aeroprofila kroz koju djeluje resultantna aerodinamička sila. Relativne pozicije centra težišta i centra potiska direktno utječu na longitudinalnu stabilnost zrakoplova u letu, a svaku moguću pojavu neravnoteže kompenzira se horizontalnim stabilizatorom koji se nalazi na repu zrakoplova. Ukoliko horizontalni stabilizator proizvodi moment koji diže nos zrakoplova prema gore, potrebna je dodatna sila uzgona na krilima kako longitudinalno uravnotežila zrakoplov. [5]

Pozicije centra težišta i centra potiska nemaju fiksne vrijednosti pa tako pozicija centra težišta ovisi o promjenama količine, odnosno mase goriva te promjeni količine tereta, dok se pozicija centra potiska mijenja u ovisnosti o brzini kretanja i napadnom kutu krila.

Također centar težišta se može nalaziti ispred ili iza centra potiska, što rezultira potpuno različitim karakteristikama u vidu performansi te stabilnosti i upravljivosti zrakoplova. U slučaju da je centar težišta smješten ispred centra potiska [5]:

- Povećava se longitudinalna stabilnost
- Povećava se brzina sloma uzgona
- Povećava se otpor zraka
- Povećava se snaga potrebna za pomicanje upravljačkih površina
- Povećava se udaljenost potrebna za uzlijetanje
- Povećavaju se brzine  $V_1$ ,  $V_R$ , i  $V_2$
- Povećava se udaljenost potrebna za slijetanje
- Povećava se brzina  $V_{REF}$
- Povećava se potreban potisak
- Povećava se potrošnja goriva
- Smanjuju se domet i istrajnost
- Smanjuje se „rate of climb“
- Smanjuje se gradijent penjanja
- Smanjuje se plafon leta

Slučaj u kojemu je centar težišta smješten iza centra potiska donosi sve suprotne karakteristike od istaknutih. Onaj slučaj koji se nikako ne smije dogoditi je kada se centar težišta nalazi izvan dopuštene granice iza centra potiska. Tada se zrakoplov dovodi u situaciju u kojoj su moguće pojave podizanja nosa prije rotacije, vrlo male sile izvršene na upravljačke površine zrakoplova mogu uzrokovati nenamjernu pretjeranu rotaciju i udarac repom u pistu („*tail strike*“), također, zrakoplov će gotovo sigurno biti aerodinamički nestabilan do granice neupravljivosti. Slika broj 4 prikazuje jednu od mogućih pozicija centra težišta na longitudinalnoj osi zrakoplova [7].



Slika 4. Pozicija centra težišta nas longitudinalnoj osi (adaptirao autor) [7]

S obzirom na sve navedeno, razlikujemo pozitivnu i negativnu longitudinalnu statičku stabilnost. U slučaju pozitivne longitudinalne statičke stabilnosti centar potiska nalazi se iza pozicije centra težišta pa tako u slučaju naleta vjetra koji bi podigao nos zrakoplova prema gore, povećani vektor uzgona djelovao bi na način da nastoji vratiti nos zrakoplova prema dolje. Suprotno tome, kod negativne longitudinalne statičke stabilnosti centar potiska nalazi se ispred centra težišta te u slučaju naleta vjetra koji bi djelovao na način da diže nos zrakoplova u zrak, povećani vektor uzgona vodi prema većem napadnom kutu aeroprofila i prema još većoj sili uzgona koja bi djelovala sve do sloma uzgona. [8]

### 2.3. Utjecaj mase zrakoplova na njegove performanse

Tijekom razvoja svakog komercijalnog zrakoplova cilj proizvođača je učiniti ga što je moguće lakšim, a pri tome ne kompromitirati njegovu čvrstoću ili sigurnost pa tako u pravilu svaka stavka ili predmet koji doprinosi povećanju ukupne mase zrakoplova rezultirati će negativnim utjecajem na njegove performanse.

S obzirom da se svaki let razlikuje po pitanju količine goriva, „*payloada*“, dužine uzletno-sletne staze, karakteristika terena koji okružuje aerodrom, nužno je da posada prije svakog leta odradi izračun performansi s konkretnim i preciznim vrijednostima masa zrakoplova. Prevelika ukupna masa zrakoplova može uzrokovati [1]:



- Prekoračenje strukturalnih ograničenja i riskiranje loma strukture
- Povećanje brzine sloma uzgona
- Povećanje ukupne sile otpora
- Povećanje sile potrebnog potiska
- Povećanje potrošnje goriva
- Smanjenje ukupnog dometa i istrajnosti
- Povećanje udaljenosti potrebnih za uzlijetanje i slijetanje
- Degradiranje brzine penjanja („*Rate of climb*“)
- Smanjenje gradijenta penjanja
- Smanjenje plafona leta
- Pretjerano trošenje kočnica i guma

### **3. Utjecaj meteoroloških uvjeta na performanse zrakoplova**

Vremenski uvjeti i poznavanje istih svakako imaju ključnu ulogu u osiguravanju sigurnog i efikasnog planiranja letenja. Uzimanje u obzir preciznih informacija o meteorološkim uvjetima na aerodromima opsluživanja te na planiranoj ruti esencijalno je za dispečere i posadu kako bi mogli donositi pravilne odluke o karakteristikama rute, visini leta, i izračunima vremena letачkih operacija. Vremenski uvjeti mogu značajno utjecati na letачke operacije pa tako negativan utjecaj lako može rezultirati kašnjenjima, preusmjeravanjima, ili čak otkazivanjima letova. Zato je važno imati dobro znanje i razumijevanje meteorologije te u svakom trenutku raspolagati aktualnim meteorološkim podacima. Dispečeri i piloti koriste meteorološke informacije za planiranje rute, zahtjeve za količinom goriva te kako bi odredili optimalnu visinu leta kojom bi što je više moguće izbjegli nepovoljne vremenske uvjete. Posada se također služi meteorološkim podacima kako bi tokom leta znali podesiti smjer i brzinu leta u cilju sigurnog, efikasnog, i ugodnog leta.

#### **3.1. Sastav, dimenzije, i vertikalna podjela atmosfere**

Formalno proučavanje fizičkih sustava kao što su motor, ili čitav zrakoplov, obično započinje opisom tog sustava. Informacije o komponentama sustava, njihovim lokacijama i dimenzijama te terminologija bitna su stavka za razumijevanje dizajna sustava i njegovog rada pa tako i razumijevanje meteoroloških čimbenika kreće od razumijevanja sastava, dimenzija, i vertikalne podjele Zemljine atmosfere.

Atmosfera predstavlja Zemljin plinoviti omotač, odnosno, sloj plinova (uobičajeno zvan – zrak) koji okružuje planet Zemlju, a zadržava ga Zemljina sila gravitacije. Omjer plinova konstantan je do visine od oko 60 km, a iznosi: 78% dušik, 21% kisik, 1% argon, ugljik-dioksid, ugljik-monoksid, helij, metan, ozon, i vodik.

Atmosfera je podijeljena prema slojevima: Egzosfera (700 do 10 000 km), Termosfera (80 do 700 km), Mezosfera (50 do 80 km), Stratosfera (12 do 50 km), i Troposfera (0 do 12 km). Zanimljivost je da je granica između atmosfere i prostranstva svemira dogovorena, naziva se Karmanova granica, nalazi se na visini od 100 km iznad srednje razine mora, prihvaćena je od strane Međunarodne zrakoplovne federacije te letove iznad Karmanove granice smatramo svemirskim letovima. 99.99997% mase Zemljine atmosfere nalazi se ispod Karmanove granice, 90% mase nalazi se ispod 52 000 ft (16 km), a 50% mase je ispod samo 18 000 ft (5,5 km). [9]

Jedini plin čija koncentracija varira u atmosferi je vodena para, njezin udio iznosi od 0% do 4%. Najveća koncentracija vodene pare nalazi se na malim visinama i u područjima u kojima prevladavaju visoke temperature. Posebnost vodene pare je ta što je ona plin koji ima najveći utjecaj na meteorološke pojave. S obzirom da se preko 90% ukupne mase vodene pare nalazi u troposferi koja je sloj atmosfere između površine Zemlje i tropopauze, gotovo se sve meteorološke pojave pojavljuju u troposferi i tako izravno utječu na let zrakoplova. Visina tropopauze i njena temperatura variraju s promjenom geografske širine pa je tako tropopauza viša i hladnija na ekvatoru, a niža i toplija na polovima. To je naravno posljedica Zemljine rotacije, odnosno, centrifugalne sile. [9]

### **3.2. Meteorološke pojave značajne za planiranje leta**

Kao što je i ranije istaknuto – vremenski uvjeti mogu imati značajan utjecaj na performanse zrakoplova pa tako visoke temperature umanjuju mogućnosti motora i na taj način povećavaju dužinu uzletno-sletne staze potrebne za uzlijetanje. Zbog snažnih naleta vjetra zrakoplovom može biti problematično upravljati, što je posebno naglašeno prilikom uzlijetanja i slijetanja. Oborine kao što su snijeg ili kiša smanjuju vidljivost i čine uzletno-sletnu stazu skliskom. To su samo neke od mnogih meteoroloških pojava koje predstavljaju sigurnosni rizik za letačke operacije. Među ostale neželjene pojave spadaju i oluje i grmljavine, turbulencije, zaleđivanje, magla, smicanje vjetra.

Važno je da piloti i dispečeri imaju znanje i razumijevanje o spomenutim pojavama kako bi mogli identificirati rizike i svesti ih na minimum. Na primjer, važno je zaobići olujna nevremena, detektirati pa zaobići turbulentna područja, ili adekvatno koristiti alate i procedure protiv zaleđivanja.

U konačnici je važno znanje o osnovnim konceptima meteorologije, interpretiranju vremenskih karata, meteoroloških izvješća i prognoza, razumijevanje utjecaja meteoroloških pojava na performanse zrakoplova te vještina umanjivanja rizika koje donose nepovoljni vremenski uvjeti.

### 3.2.1. Vlažnost i oborine

Ranije je spomenuto kako prisutnost i količina vodene pare varira u atmosferi, a zauzima samo mali postotak svih plinova. Međutim, iako je vodena para oko nas u malim količinama, njena je prisutnost glavni uzročnik pojava kao što su zaleđivanje, oborine, i olujna nevremena. Vlažan zrak nastaje isparavanjem, odnosno, „bijegom“ molekula s površine tekućine u plinovito stanje zbog povećanja temperature koje uzrokuje veću molekularnu aktivnost. S promjenom temperature mijenja se relativna vlažnost. Relativna vlažnost predstavlja vrijednost koja ukazuje koliko vodene pare zrak sadrži u odnosu na ono koliko bi mogao sadržati pa tako relativna vlažnost od 50% znači da zrak sadrži polovicu količine vodene pare koju bi u danim uvjetima (temperature i tlaka) mogao sadržavati. S obzirom na to da hladniji zrak može primiti manje, a topliji zrak više vodene pare, temperatura na koju se mjehur zraka mora ohladiti kako bi relativna vlažnost dostigla 100% nazivamo temperatura rosišta („*Dew point*“), a ona predstavlja potpuno zasićenje mjehura zraka vodenom parom. U tom slučaju ukupna količina vode u mjehuru zraka ostaje ista, a samo dio prelazi u tekuće stanje. Što je veća razlika između temperature zraka i temperature rosišta, zrak je suhlji. [9]

Za shvaćanje procesa nastajanja oblaka potrebno je upoznati se sa tipovima stopa opadanja temperature. Stopa opadanja temperature okoliša (ELR – „*Environmental Lapse Rate*“) jest stvarna stopa opadanja temperature s povećanjem visine. Mjeri se meteorološkim radio-sondama i u pravilu se razlikuje od prosječne. Prosječna stopa opadanja temperature okoliša iznosi  $6.5^{\circ}\text{C}$  na 1000 m ili  $2^{\circ}\text{C}$  na 1000 ft. Suha adijabatska stopa opadanja temperature (DALR – „*Dry Adiabatic Lapse Rate*“) predstavlja stopu opadanja temperature za mjehur suhog zraka, odnosno, komadić bilo kojeg vodenom parom nezasićenog zraka. Taj se komadić zraka konvekcijom uzdiže u područje nižeg tlaka, širi se i hladi, a dok god nema kondenzacije i dodatne vlažnosti, taj zrak će se adijabatski hladiti  $3^{\circ}\text{C}$  na 1000 ft ( $1^{\circ}\text{C}$  na 100 m). Vlažna adijabatska stopa opadanja temperature (SALR - „*Saturated Sdiabatic Lapse Rate*“) predstavlja stopu opadanja temperature za mjehur vlažnog zraka, odnosno, komadić bilo kojeg vodenom parom zasićenog zraka. Taj se komadić vodenom parom zasićenog zraka uzdiže konvekcijom u područje nižeg tlaka, širi se i hladi te izbacuje vodenu paru koja se kondenzira u tekuću vodu. Kondenzacijom oslobađa latentnu toplinu i usporava pad temperature cijelog mjehura. Pad temperature ovisi o količini vodene pare i visini te nije konstantan (uzimamo  $1.8^{\circ}\text{C}$  na 1000 ft,  $0.6^{\circ}\text{C}$  na 100 m na razini mora). U svim spomenutim pojmovima riječ „adijabatski“ podrazumijeva proces bez dobitka ili gubitka energije. [9]

Stvaranjem naoblake može se očekivati i pojava oborina. Oborine predstavljaju sve što pada iz oblaka, a ovise o vrsti oblaka, najviše o snazi uzlaznih strujanja u oblaku. Kako bi se oformile kapljice kiše, pahuljice, ili kuglice leda potrebna je prisutnost kondenzacijskih jezgri oko kojih se one oformljavaju. Kondenzacijske jezgre su čestice

dima, prašine, leda ili soli. U rijetkim slučajevima kada nema kondenzacijskih jezgri, relativna vlažnost može prijeći 100%. [9]

Do pojave kiše i rominjanja dolazi kada se u oblaku vodena para kondenzira na kondenzacijskim jezgrama, kapljice vode se međusobno sudaraju i stvaraju sve veće kapi. Kapi, kada dovoljno otežaju, mogu se probiti kroz uzlazno strujanje i padaju na tlo.

Kod pojave snijega, kristalići leda stvaraju se na visinama iznad nulte izoterme u oblaku. Kristalići se zagrijavaju dok padaju, a ako padaju dulje od 1500 ft kroz temperature iznad 0°C otopiti će se u potpunosti. [9]

Za razliku od kiše i snijega, tuča je vezana isključivo za kumulonimbuse (Cb). Kristalići leda prilikom padanja prikupljaju dodatnu tekuću vodu i uzlazno strujanje ih ponovno podiže. One se ponovno zaleđuju i taj se ciklus može ponoviti više puta sve dok komadići leda ne otežaju dovoljno da se probiju kroz uzlazno strujanje. Uz pojavu kumulonimbusa veže se i opasnost od munja koje nastaju zbog gomilanja naboja u oblaku. Iako je zrakoplov Faradayjev kavez, odnosno, zatvoreni prostor u kojega ne prodire elektromagnetsko polje, postoji opasnost od demagnetizacije magnetnog kompasa, oštećenja nezaštićene elektroničke opreme, smetnje s navigacijskom i komunikacijskom opremom, a blijesak može zaslijepiti i dezorijentirati pilote. Slika broj 5 prikazuje značajnu štetu na prednjem dijelu, odnosno, „nosu“ zrakoplova nastalu djelovanjem tuče [10].



Slika 5. Šteta nastala djelovanjem tuče [10]

### 3.2.2. Stvaranje leda

Još jedan od nepovoljnih čimbenika koji su učestala pojava u avijaciji, a najčešće su uzrokovani kombinacijom vlažnog zraka i nižih temperatura jesu meteorološke pojave koje uzrokuju smanjenu vidljivost. Pa tako postoji magla („*fog*“), koja uzrokuje vidljivost manju od 1000 metara, sastoji se od kapljica vode ili kristalića leda, a relativna vlažnost magle je 100%. Sumaglica („*mist*“) vrlo je slična pojava magli i sastoji se od kapljica vode ili kristalića leda, međutim, vidljivost kod sumaglice je od 1000 do 5000 metara, a relativna vlažnost oko 95%. Razlikujemo i smrzavajuću maglu („*freezing fog*“) koja je magla temperature manje od 0°C i uglavnom se sastoji od pothlađene vode. Također postoji i ledena magla („*ice fog*“) koja se javlja tek na oko -20°C, a sastoji se od kristalića leda. [11]

Osim magle javlja se i izmaglica („*haze*“), a ona se sastoji od čvrstih čestica te uzrokuje vidljivost do 1000 metara, čest naziv za izmaglicu je i „smog“. Još neki od uzroka smanjene vidljivosti jesu pješčane oluje („*sandstorm*“) te snježne oluje („*blowing snow*“). U meteorološkim izvještajima u avijaciji razlozi smanjene vidljivosti navode se ukoliko je vidljivost do 5000 metara. [11]

Kombinacija vlažnog zraka i niskih temperatura nezgodna je i zbog pojave zaleđivanja. Zaleđivanje je, naravno, nepoželjna pojava koja može izobličiti aerodinamičke površine aviona te dovesti do povećanja otpora i težine zrakoplova u letu, a koji onda mogu dovesti do sloma uzgona. Zaleđivanje nastaje sublimacijom ili smrzavanjem tekuće vode – kiše ili pothlađene vodene kapi na površini aviona, a može biti u obliku igličastog leda („*rime ice*“) i prozirnog leda („*clear ice*“). Igličasti i prozirni led prikazani su slikama na sljedećoj stranici rada pod brojevima 6 i 7.

Već zaleđena voda ne prima se na konstrukciju zrakoplova. Igličasti led nastaje direktno udarom kapljice pothlađene vode na konstrukciju, on se lakše čisti i lakše otpada od prozirnog leda. Prozirni led nastaje udarcima konstrukcije u veće kapi pothlađene vode koja se tada pretvara u led te se oslobađa latentna toplina. Samo dio kapljice zaledi se direktno udarcem, a ostatak vode zagrije se na 0°C i nastavlja teći po konstrukciji te se naknadno pretvara u led zbog temperature zraka manje od 0°C. S obzirom da je prozirni led čvrst i izdrživ sloj leda moguće je da zablokira kontrolne površine i vrata stajnog trapa, prekrije antena, ili čak statički otvor. [11]



Slika 7. Igličasti led („Rime ice“)



Slika 6. Prozirni led ("Clear ice")

Stvaranje leda, odnosno, zaleđivanje konstrukcije zrakoplova može se desiti i dok zrakoplov miruje. Tu pojavu nazivamo inje („*frost*“), a nastaje direktnom resublimacijom na konstrukciji aviona jer je ona hladna, a zrak topao i vlažan. Do stvaranja inja često dolazi nakon dugotrajnog leta na niskim temperaturama uz naglo snižavanje. Također, inje se može pojaviti i na parkiranoj avionu ujutro u vrijeme kada temperatura zraka padne do točke mražišta [6]. U slučaju pojave inja prije uzlijetanja je potrebno očistiti avion prema uputama u operativnom priručniku. Pojava inja na konstrukciji zrakoplova prikazana je slikom broj 8 [12].



Slika 8. Inje ("*Frost*") [12]

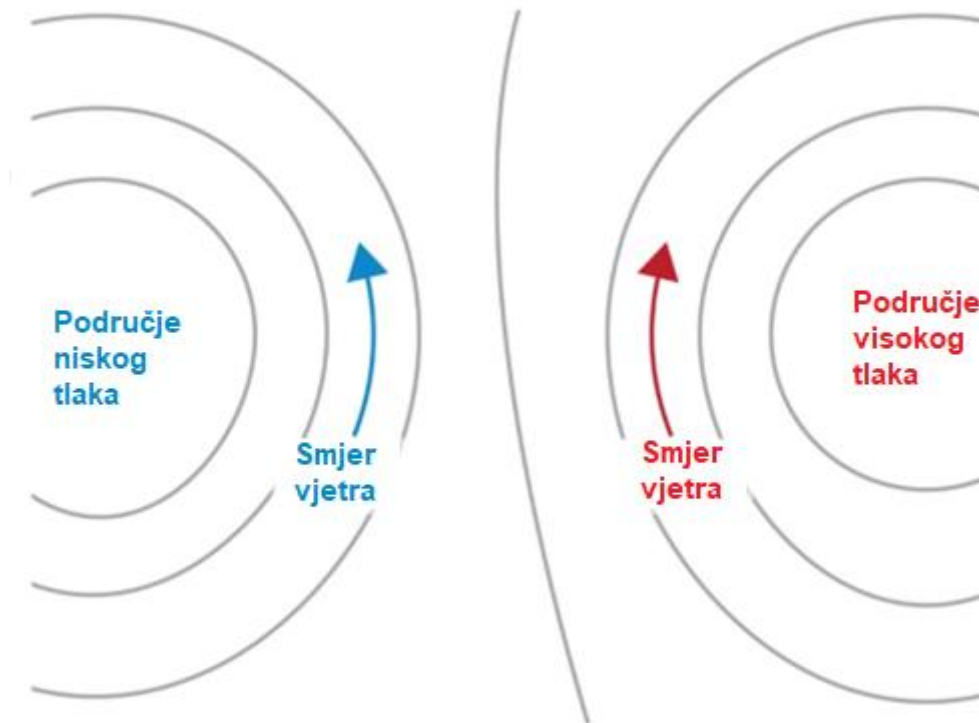
### 3.2.3. Vjetar

Vjetar je pojava horizontalnog gibanja zraka. Gibanje zraka prenosi toplinu, vlagu, i zagađenje s jednog mjesta na drugo. Gibanje zraka može stvoriti idealne uvjete za formiranje i nestajanje oblaka i oborina. U nekim slučajevima ta gibanja zraka mogu smanjivati vidljivost, a u nekim je povećavati. Vjetrovima se pomiču zračne mase i tako dolazi do promjena vrijednosti atmosferskog tlaka. U letu, kaotična kretanja zraka u različitim smjerovima unutar manje udaljenosti mogu uzrokovati turbulencije, koje su u najmanju ruku neugodne, a u najgorem slučaju predstavljaju i izuzetan rizik za sigurnost leta.

Jačina vjetra mjeri se anemometrom, a prikaz vjetra u zrakoplovstvu sastoji se od smjera iz kojeg vjetar dolazi izraženog u stupnjevima, i brzine vjetra izražene u čvorovima. Vjetrovi na svim visinama uzrokovani su razlikom u tlakovima. Zbog te razlike tlak se pokušava izjednačiti vjetrom iz područja višeg u područje nižeg tlaka.

Osim razlike u tlakovima, vjetrovi uz površinu su i pod utjecajem trenja. Visina od 2000 ft definira granični sloj iznad kojeg vjetar slobodno struji.

Nizozemski kemičar i meteorolog C. H. D. Buys Ballot zaslužan je za Buys Ballotov zakon koji kaže ako na sjevernoj hemisferi okrenemo leđa vjetru, područje niskog tlaka nam je s lijeve strane. Vjetar cirkulira u smjeru obratnom od kazaljke na satu oko područja niskog tlaka na sjevernoj hemisferi. Slika broj 9 prikazuje Buys Ballotov zakon, odnosno, područja niskog i visokog tlaka te smjerove vjetra [13].



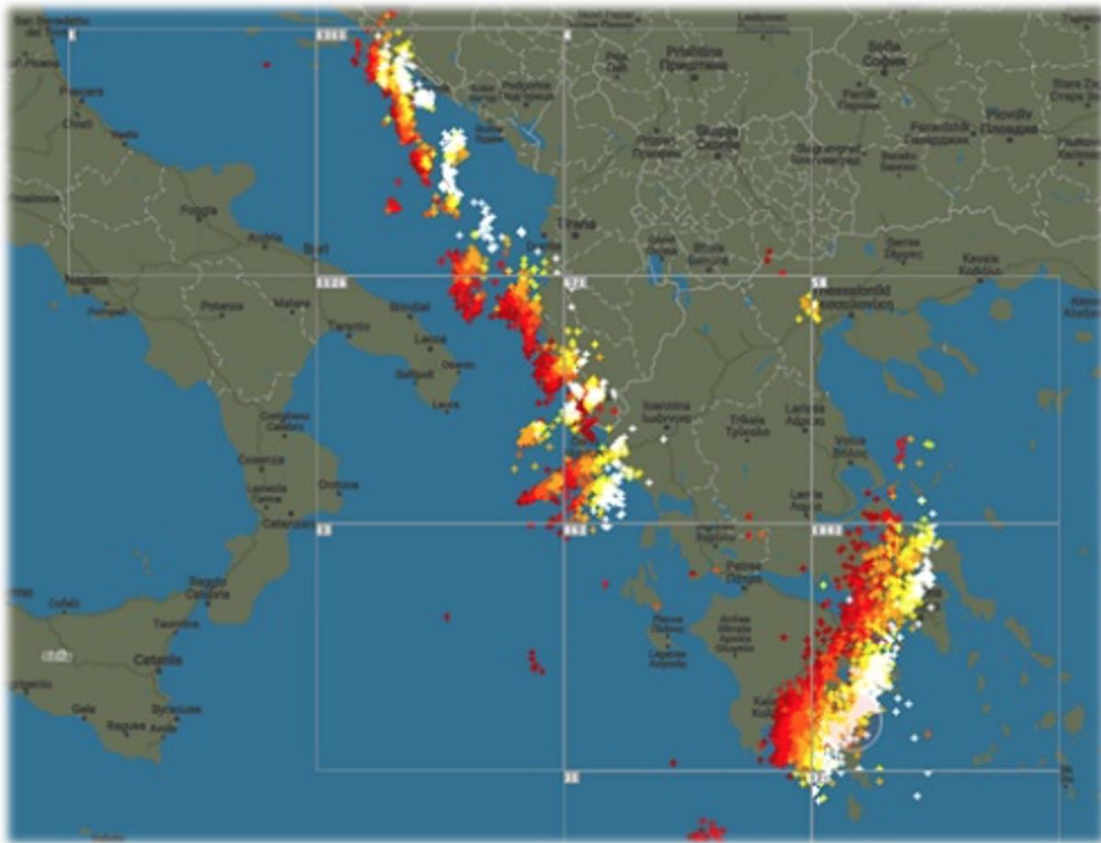
Slika 9. Prikaz Buys Ballotovog zakona (adaptirao autor) [13]

Na nižim visinama u atmosferi, uzduž toplih i hladnih fronti nerijetka je pojava smicanje vjetra („*windshear*“). To je nagla promjena smjera i brzine vjetra na kratkoj udaljenosti, vertikalno ili horizontalno. Na većim visinama smicanje vjetra može uzrokovati turbulencije, dok je na nižim visinama opasno kod uzlijetanja i slijetanja. Turbulencije su promjene vjetra na putanji leta obilježja, intenziteta, i trajanja koja remete položaj aviona oko glavnih osi. Zrakoplov u toj situaciji iskusi iznenadne velike promjene u brzini koje mogu uzrokovati i slom uzgona. Smicanje vjetra može se detektirati pomoću Doppler radara. Također, postoji i turbulencija u vedrom vremenu (CAT – „*Clear Air Turbulence*“) koja je turbulencija nevezana za oblak. Prilikom leta u turbulencijama, s obzirom da brzina fluktuiraju, avion treba biti pri sredini dozvoljenog opsega brzina. Turbulencije prema intenzitetu dijelimo na slabe („*light*“), umjerene („*moderate*“), i jake („*severe*“) turbulencije.

Jake turbulencije i smicanje vjetra gotovo uvijek su prisutni kod pojave kumulonimbusa („Cb“). Kumulonimbusi su najopsniji oblik oblaka, često se protežu



toliko visoko kroz atmosferu da probijaju i granicu tropopauze. Neke od opasnosti koje donose su pljuskovi, tuča, grmljavina, jake turbulencije, jaka dizanja i spuštanja, jaka zaleđivanja, ometanje komunikacijske opreme te zaslijepljenost. Sijevanje i grmljavina javljaju se u ekstremnim oblicima kumulonimbusa gdje je aktivnost toliko jaka da ih izazove. S obzirom na veličinu, postoje tri osnovna oblika pojave kumulonimbusa: jednostanični („*Single-cell*“), višestanični („*Multi-cell*“), i superstanični („*Super-cell*“). Jednostanični kumulonimbusi su kraćeg životnog ciklusa i manjeg intenziteta. Višestanični su češća pojava od jednostaničnih, ukupan životni vijek im je dulji, a često formiraju olujnu liniju („*Squall line*“) koja je skupina kumulonimbusa nanizanih u liniju. Superstanični kumulonimbusi razlikuju se od višestaničnih po elementu rotacije uzlaznog strujanja koje se naziva mezociklona, a može uzrokovati i pojavu tornada [14]. Slike pod brojevima 10 i 11 prikazuju pojavu višestaničnih kumulonimbusa formiranih u olujne linije („*squall lines*“) te pojavu jednog superstaničnog kumulonimbusa [15].



Slika 10. Olujne linije ("Squall lines")



Slika 11. Superstanični kumulonimbus ("Super-cell") [15]

### 3.3. Meteorološke informacije za planiranje leta

Neizostavan dio procesa planiranja leta svakako je detaljno informiranje o meteorološkim uvjetima koji prevladavaju ili za koje je najavljena mogućnost pojave na ruti i na aerodromima opsluživanja, uključujući i aerodrome odabrane kao alternacije u slučaju potrebe. Iako se za aerodrome uzlijetanja i destinacije može reći da su fiksirani, alternativni aerodromi između ostaloga biraju se upravo na temelju podataka o meteorološkim uvjetima koji će na njima prevladavati u predviđeno vrijeme dolaska zrakoplova.

Motrenja i mjerenja obavljaju se na cijeloj Zemlji iz mreže prizemnih i visinskih meteoroloških postaja. Također, mjerenja se rade i iz svemira uz pomoć dvije vrste meteoroloških satelita: geostacionarnih i cirkumpolarnih. Sateliti upotpunjavaju „rupe“ u mreži postaja koje su u nekim predjelima prevelike zbog prevelike udaljenosti postaja kao kod oceanskih površina, pustinja, polarnih nepristupačnih predjela, i drugih nenaseljenih područja. Podaci dobiveni iz sustava za mjerenje sadrže osnovne varijable kao što su tlak, temperatura, vlaga, vjetar te cijeli niz meteoroloških elemenata uključujući naoblaku i njezin intenzitet te visinu podnice oblaka. Za obradu velike količine podataka potrebna su snažna i brza računala, kao i vrlo brze komunikacije jer se podaci vrlo brzo moraju sakupiti u meteorološkim centrima i obraditi za analizu. Iz ovih se podataka izrađuju i prizemne i visinske sinoptičke karte koje u simbolima prikazuju meteorološke uvjete koji prevladavaju.

Razlikujemo dvije vrste zrakoplovnih meteoroloških karata: karte značajnog vremena (SWC – „*Significant Weather Chart*“), i karte visinskih vjetrova („*Flight Level*

*Chart*). SWC karte prezentiraju nam značajno vrijeme u određenom sloju atmosfere iznad određenog područja. Zavisno od visine sloja u kojemu se prognozira značajno vrijeme SWC karte mogu biti za visoke slojeve (SWH – „*Significant Weather High*“) od FL250 do FL450, za srednje slojeve (SWM – „*Significant Weather Medium*“) od FL100 do FL250, i za niske slojeve (SWL – „*Significant Weather Low*“) od površine do FL100. Karte značajnog vremena u Europi najčešće se izdaju svakih 6 sati (za 00, 06, 12, i 18 UTC). Značajni fenomeni se na SWC kartama obilježavaju specijalnim simbolima i ICAO kraticama, a neki od fenomena koji se prognoziraju su: zone oblaka, ciklone, jake linije oluja, turbulencije u oblacima ili u vedrom vremenu, zaleđivanje, opasni kumulonimbusi, visina tropopauze, kretanja mlaznih struja, informacije o poziciji vulkanskih oblaka. [8]

Kod karata visinskih vjetrova dati su podaci o vjetru i temperaturi na određenim razinama leta. Smjer i brzina vjetra iskazani su simbolima, a temperature na određenim pozicijama iskazane su, naravno, brojkama. Napomena je da su temperature bez predznaka negativne.

Uz karte značajnog vremena i karte visinskih vjetrova, izuzetno su bitna zrakoplovna meteorološka izvješća, neka od kojih su: METAR, SPECI, TAF, SIGMET, AIRMET. METAR („*Aviation routine weather report*“) ime je koda za redovno zrakoplovno meteorološko izvješće koje se izdaje svaki sat ili svakih pola sata, ovisno o kategoriji aerodroma. SPECI je ime koda za specijalno odabrano meteorološko izvješće koje se izdaje u bilo koje doba kada su ispunjeni određeni kriteriji. SPECI izdaju oni aerodromi koji METAR izdaju svakih sat vremena. METAR i SPECI su zapravo dva meteorološka izvješća koja imaju isti oblik koda, i oba mogu na kraju imati TREND prognozu. Zrakoplovna izvješća METAR i/ili SPECI sadrže sljedeće informacije koje se daju prema definiranom redosljedu:

- Grupa za identifikaciju
- Prizemni vjetar
- Prizemna vodoravna vidljivost
- Vidljivost duž uzletno sletne staze
- Trenutne meteorološke pojave
- Naoblaka ili vertikalna vidljivost ako je promjereno
- Temperatura i rosište
- Tlak (QNH)
- Dodatne informacije (pojave u prošlom vremenu, smicanje vjetra, TREND prognoza, SNOWTAM)

TREND prognoza je sastavni dio METAR izvješća i daje se na kraju izvješća. Ona je zapravo prognoza za slijetanje i uzlijetanje, a vrijedi za period od najviše dva sata. TREND je najbolja procjena tendencije meteoroloških elemenata u sljedeća dva sata nakon opserviranja. TREND prognoza se dodaje na kraju METAR ili SPECI izvješća kada se u naredna dva sata očekuju značajne promjene jednog ili više motrenih elemenata kao što su vjetar, vidljivost, trenutno vrijeme, oblaci, ili vertikalna

vidljivost. Uključuju se samo oni elementi za koje se očekuje da će se značajno mijenjati, a kada se ne očekuje značajna promjena ni jednog od elemenata to se naznačuje skraćenicom „NOSIG“ („*No Significant Change*“). [8]

Spomenuti SNOWTAM je dodatak NOTAM izvješću, a koristi se za izvještavanje o stanju uzletno sletnih staza. Daje nam informacije o smjeru piste, stanju USS s obzirom na vodu, snijeg, i led, definira postotak piste koji je pod navedenim stanjem, visini taloga te koeficijentu trenja ili procjeni kvalitete kočenja.

Poseban oblik NOTAM izvješća je ASHTAM, a informira nas u posebnom obliku o promjenama o aktivnosti vulkana, njihovim erupcijama, i/ili oblacima vulkanskog pepela koji su od velikog značaja za letачke operacije. Također, osnovne informacije o vulkanskim aktivnostima dobivaju se iz devet svjetskih centara VAAC („*Volcanic Ash Advisory Center*“), od kojih svaki ima svoje područje odgovornosti.

Aerodromska prognoza ili TAF („*Terminal Aerodrome Forecast*“) je kompletan opis meteoroloških elemenata koji se očekuju na aerodromu kroz cijeli prognostički period, uključujući i promjene koje se smatraju značajnim za zrakoplovne operacije. TAF-ovi opisuju prognozu prevladavajućih uvjeta na aerodromu za dati vremenski period. TAF ovisno o aerodromu, pokriva vremenski period od 9 ili 24 sata. Što je precizno definirano na početku svakog TAF koda. Aerodromske prognoze izdaju se odvojeno od METAR izvješća. Ako se u skladu s promjenama meteoroloških uvjeta koji su vidljivi u METAR izvješću očekuje značajna promjena meteoroloških uvjeta od onih koji su prognozirani TAF-om, daje se korekcija TAF-a koja se označava s kraticom „AMD“ („*Ammend*“). Poput METAR izvješća, i TAF-ovi sadrže specifične informacije koje se daju sljedećim redoslijedom:

- Grupe za identifikaciju
- Prizemni vjetar
- Horizontalna prizemna vidljivost
- Meteorološke pojave
- Oblaci i/ili vertikalna vidljivost
- Očekivanje značajne promjene

Također, kodiranje TAF-a vrlo je slično kodiranja u METAR izvješću. Slika broj 12 na idućoj stranici prikazuje primjere METAR izvješća i TAF prognoza za četiri različita aerodroma.

SIGMET („*Significant meteorological information*“) predstavlja informacije o značajnim meteorološkim pojavama opasnim za zrakoplove u letu. One su upozorenja o postojećim i/ili prognoziranim opasnim meteorološkim fenomenima u zračnom prostoru (FIR – „*Flight Information Region*“), kojeg kontrolira oblasna kontrola leta određene države. SIGMET izdaju meteorološke službe bdijenja (MWO – „*Meteorological Watch Office*“) koje su pridružene datom FIR-u. SIGMET se izdaje u skraćenom tekstu na engleskom jeziku, period važenja je najčešće 3-4 sata, a najduže 6 sati. Opservirani i prognozirani meteorološki fenomeni koje SIGMET opisuje su:

grmljavinski procesi, tuča, ciklone, turbulencije, zaleđivanje, planinski valovi, pješčane oluje, vulkanski pepeo pa i radioaktivni oblak.

```
Departure airport LOWI - INN - INNSBRUCK VAR E4 RWY 08 26
METAR 011650Z VRB02KT 9999 FEW026 BKN080 08/05 Q1006 NOSIG=
TAF 011115Z 0112/0212 27010KT 9999 SCT040 BKN070 TX15/0212Z TN04/0205Z
TEMPO 0112/0115 12010G20KT -SHRA PROB40 TEMPO 0113/0116 27015G30KT SHRA
TEMPO 0118/0206 VRB02KT -RA BKN010=

Destination airport OJAI - AMM - AMMAN/QUEEN ALIA INTL VAR E4 RWY 08L 08R 26L 26R
METAR 011700Z 06008KT 5000 HZ NSC 22/04 Q1017 NOSIG=
TAF 011106Z 0112/0218 11010KT 5000 HZ NSC PROB40 0112/0118 12018KT 3000
BLDU PROB30 0212/0218 29007KT=

Alternate airport OJAQ - AQJ - AQABA/KING HUSSEIN INTL VAR E4 RWY 01 19
METAR 011700Z 00000KT 9999 FEW040 SCT200 33/06 Q1010 NOSIG=
TAF 011106Z 0112/0218 01010KT 6000 NSC TEMPO 0118/0206 18016KT 4000 BLDU
PROB30 0212/0215 4000 -RA SCT050=

Alternate airport EDDM - MUC - MUNICH VAR E3 RWY 08L 08R 26L 26R
METAR 011650Z AUTO 25019KT 9999 FEW032 10/03 Q1004 BECMG 24012KT=
TAF 011540Z AMD 0115/0218 25020G30KT 9999 SCT040 BECMG 0116/0118 25012KT
BECMG 0118/0119 24007KT BECMG 0206/0208 25015G25KT TEMPO 0209/0215
25020G30KT BECMG 0216/0218 24004KT=
TAF 011106Z 0112/0218 01010KT 6000 NSC TEMPO 0118/0206 18016KT 4000 BLDU
PROB30 0212/0215 4000 -RA SCT050=
```

Slika 12. Prikazi METAR izvješća i TAF prognoza

#### 4. Aerodromi opsluživanja i odabir adekvatnih alternativnih aerodroma

Ovo je poglavlje koncipirano na način se odrede aerodromi opsluživanja koji će biti predmet detaljne analize, planiranja leta te izrade operativnih planova leta i njihove usporedbe kroz različite meteorološke uvjete, odnosno, godišnja doba u svrhu praćenja kretanja vrijednosti parametara važnih za poslovanje komercijalnog zračnog prijevoznika. Nakon određivanja aerodroma opsluživanja biti će prikazana analiza njihovih karakteristika i opremljenosti kako bi se utvrdilo jesu li adekvatni za prihvata i otpremu našeg zrakoplova kao i jesu li pogodni za korištenje u vidu letачkih operacija. Također, objašnjen će biti i proces odabira alternativnih aerodroma.

Za potrebe ovog rada zrakoplov s kojim će se vršiti proces planiranja leta biti će izuzetno popularan model komercijalnog zrakoplova za srednje relacije – Airbus A320, a planirati će se specifična ruta leta od aerodroma u Innsbrucku (INN/LOWI) do aerodroma u Ammanu (AMM/OJAI).

Planiranje leta Innsbruck Airport (ICAO: LOWI; IATA: INN, Innsbruck, Austria) – Queen Alia International Airport (ICAO: OJAI; IATA: AMM; Amman, Jordan) pogodno je za prikaz, analizu, i usporedbu određenih izračunatih parametara jer nudi više mogućnosti prikaza mogućih ograničenja koja se potencijalno mogu pojaviti te ostalih

specifičnosti i posebnosti s kojima se zrakoplovni dispečeri i operativne letačke posade mogu susresti kod planiranja leta. Planiranje će dakle biti izvršeno s ciljem prikazivanja cjelokupnog procesa planiranja komercijalnog leta zrakoplova koristeći dva aerodroma specifičnih karakteristika, jedan od kojih iz određenih razloga nameće značajna ograničenja za uzeti zrakoplov A320.

Let će biti simuliran i kroz dva upravo suprotna godišnja doba, a nakon njihove analize, kasnije u radu predloženo će biti jedno potencijalno rješenje za poboljšanje isplativosti ovog egzaktnog leta i smanjenje rizika.

#### 4.1. Analize aerodroma

Prije procesa planiranja svakog leta, od izuzetne je važnosti analizirati svaki aerodrom opsluživanja kako bi se utvrdilo je li pogodan za uzeti tip zrakoplova. S obzirom na to potrebno je utvrditi određene parametre, a neki od kojih su:

- Je li aerodrom unutar dopuštenog područja letačkih operacija
- Je li aerodrom AOE („*Airport Of Entry*“), odnosno, dopušta li legalan ulazak u zemlju za putnike i/ili kargo
- Postoje li ograničenja u vidu performansi
- Postoje li ograničenja u vidu karakteristika USS – uzletno-sletne staze (širina, dužina, PCN („*Pavement Classification Number*“), staze za taksiranje, stajanke te elevacija USS)
- Sadrži li aerodrom odgovarajuća navigacijska sredstva
- Sadrži li potrebnu rasvjetu
- Pruža li aerodrom zadovoljavajuću RFFS („*Airport rescue and fire fighting service*“) potrebnu kategoriju
- Potrebno je ustanoviti radno vrijeme aerodroma
- Potrebna je provjera operativnih ograničenja vezanih za buku zrakoplova
- Provjera dostupnosti odgovarajućeg tipa goriva
- Izuzetno je važna i dostupnost meteoroloških informacija i prognoza te NOTAM izvješća
- Dostupnost alternativnog aerodroma
- Provjera rute u vidu zaobilaska potencijalnih područja koja su u konfliktu ili ne dozvoljavaju operiranje iz drugih razloga
- Provjera zahtjeva li aerodrom koordinaciju putem slotova

Izvor za pronalazak navedenih informacija mora biti pouzdan i odobren od strane Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo, a primjer za jedan od takvih izvora je i Jeppesenova baza podataka.

S obzirom da je sigurnost letačkih operacija uvijek prioritet i na prvom mjestu, također je vrlo bitno da meteorološki izvještaji i/ili prognoze (METAR, TAF) indiciraju

da će tijekom perioda od jednog sata prije i jednog sata nakon procjene početka i završetka letačke operacije meteorološki uvjeti na aerodromu biti u skladu s dopuštenim minimumima definiranim za naš tip zrakoplova. S ciljem bolje preglednosti određeni će aerodromi biti obrađeni u poglavljima koja slijede, a analiza će biti prikazana u obliku kontrolnih lista („*checklists*“) uz određena pojašnjenja gdje je to potrebno.

#### 4.1.1. Innsbruck Airport (LOWI; INN)

Tablica 1. Innsbruck Airport - "*Checklist*"

Airport: LOWI / INN		
CONTENTS	YES	NO
OS Limitations	✓	
Airport of entry	✓	
Operating minimum	✓	
Runway (width, length, and PCN), taxiways, ramp areas, elevation	✓	
Navigation aids	✓	
Lighting	✓	
ARFF/RFFS (Airport rescue and fire fighting service)	✓	
Working hours/Curfews	✓	
Noise abatement procedures	✓	
Fuel availability	✓	
Route availability (check information on conflict zones)	✓	
Weather information availability	✓	
NOTAM consideration for the flight period	✓	
Alternate availability	✓	

Slot Coordination	✓	
<b>REMARKS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Opening Times: 0630-2000LT</li> <li>• Airport category „C“</li> <li>• Landing Permit required for arrival from Jordan</li> </ul>		

Kao što je vidljivo iz kontrolne liste, Innsbruck Airport zadovoljava sve uvjete za ostvarivanje mogućnosti letačkih operacija zrakoplova Airbus A320.

U napomene su dodane tri važne stvari - podatak o otvorenosti zračne luke preuzet iz Jeppesenove baze podataka, potrebu za dozvolom za slijetanje koju traže austrijske vlasti iz razloga što bi povratni let u Innsbruck bio iz Jordana koji nije dio Europske unije te napomenu da je Innsbruck Airport kategoriziran kao aerodrom kategorije „C“. Kategorija „C“ dodijeljena mu je zbog konfiguracije okolnog terena koja otežava prilaz na slijetanje te zbog učestale loše vidljivosti uzrokovane maglom i/ili niskom naoblakom. Kategorija „C“ nameće obavezu operateru da operativnoj posadi omogući određene specijalizirane treninge prije letenja na datom aerodromu.

#### 4.1.2. Queen Alia International Airport (OJAI; AMM)

Tablica 2. Queen Alia International Airport - "Checklist"

<b>Airport: OJAI / AMM</b>		
<b>CONTENTS</b>	<b>YES</b>	<b>NO</b>
OS Limitations	✓	
Airport of entry	✓	
Operating minimum	✓	
Runway (width, length, and PCN), taxiways, ramp areas, elevation	✓	
Navigation aids	✓	
Lighting	✓	



ARFF/RFFS (Airport rescue and fire fighting service)	✓	
Working hours/Curfews	✓	
Noise abatement procedures	✓	
Fuel availability	✓	
Route availability (check information on conflict zones)	✓	
Weather information availability	✓	
NOTAM consideration for the flight period	✓	
Alternate availability	✓	
Slot Coordination		✓
<p><b>REMARKS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Landing Permit is required</li> <li>• Due to active conflict zone, overflight of Israel FIR is not recommended. Most economical route which avoids Israel FIR is over Egypt FIR.</li> <li>• Egypt Overflight Permit is required</li> </ul>		

Queen Alia International Airport također zadovoljava sve potrebne uvjete za normalno provođenje letaćkih operacija našeg Airbusa A320. Vidljiva razlika ove zračne luke u odnosu na LOWI/INN je ta što ona nije slot-koordinirana. To govori da njezino radno opterećenje u vidu gustoće prometa nije na toj razini da se prije operiranja za određeni raspored iziskuje potvrda aerodromskih slot vremena, odnosno, koordinacija i odobravanje vremena dolaska i polaska od strane zračne luke.

„Remark“ sekcija je ponovno ispunjena zbog obavezne dozvole za slijetanje u Jordan za letove u komercijalne svrhe. Zračna luka OJAI/AMM trenutno nema vremenske intervale koji bi ograničavali njeno korištenje tijekom kasnih noćnih sati u svrhu smanjenja buke kao što je čest slučaj kod velikih europskih aerodroma. Također, s obzirom da najkraća ruta našeg planiranog leta INN – AMM prolazi kroz izraelski FIR, koji je, nažalost, trenutno zahvaćen oružanim sukobom („*conflict area*“), savjetuje se pronalazak alternativnog rješenja. S obzirom na geografski položaj Jordana, a koji je takav da mu je sa sjeverne strane Sirija koja se također smatra potencijalno opasnom

zonom zbog oružanih sukoba te je preporuka izbjegavati ju, jedino je rješenje ulazak u Jordan s južne strane, a to znači prelet preko Egipta. Za prelet komercijalnog leta preko teritorija Egipta također je neophodno ishoditi valjanu dozvolu za prelet („*overflight permit*“).

## 4.2. Odabir alternativnih aerodroma

Poput aerodroma operiranja, i alternativni aerodromi moraju biti podvrgnuti jednakoj evaluaciji i zadovoljiti sve potrebne parametre kako bi u slučaju potrebe mogli biti iskorišteni za slijetanje. Alternativni aerodromi ne biraju se nužno isključivo za destinaciju, već ih dijelimo na alternativne aerodrome za destinaciju („*Destination alternate*“), alternativne aerodrome na ruti („*En-route alternate*“), i alternativne aerodrome za uzlijetanje („*Take-off alternate*“). Za svaki od tipova alternativnih aerodroma postoje zasebni zahtjevi s obzirom na udaljenost od jednog od aerodroma opsluživanja, ili na udaljenost od planirane rute kojom bi se let trebao odvit. Svaki alternativni aerodrom koji je odabran za određeni let, obavezno je specificiran u operativnom planu leta (OFP – „*Operational Flight Plan*“).

Za potrebe ovog rada, a s ciljem zadržavanja preglednosti i lakšeg snalaženja, odnosno, kako rad ne bi bio zagušen s previše informacija koje nisu neophodne, alternativni aerodromi biti će prikazani tablicom. Važna je napomena da je analiza svih alternativnih aerodroma odrađena te su evaluirani i zadovoljavaju sve uvjete. Tablica broj 3 prikazuje odabrane aerodrome destinacije i njihove odabrane alternativne aerodrome.

Tablica 3. Odabrani alternativni aerodromi

AIRPORT	DESTINATION ALTERNATE 1	DESTINATION ALTERNATE 2	TAKE-OFF ALTERNATE
INN / LOWI	MUC / EDDM	×	MUC / EDDM
AMM / OJAI	AQJ / OJAQ	×	×

### 4.2.1. Alternativni aerodrom destinacije

Alternativni aerodrom destinacije služi za slučaj kada prilikom dolaska na aerodrom destinacije, zrakoplov nije u mogućnosti izvršiti slijetanje iz nekog razloga, a to može biti zbog meteoroloških uvjeta ispod propisanih minimuma, zbog neočekivanog

zatvaranja aerodroma, ili iz nekog trećeg razloga. Također, ukoliko su ispunjeni određeni uvjeti, let je moguće odraditi i bez odabranog aerodroma alternacije, a u nekim je slučajevima obavezno odrediti čak dva adekvatna aerodroma kao alternativne aerodrome destinacije. U slučaju odabira dva alternativna aerodroma, količina goriva koja se uzima za slučaj odlaska na alternaciju („*alternate fuel*“) mora biti dovoljna za dolazak do alternativnog aerodroma koji iziskuje veću količinu goriva. [16]

Za svaki je IFR let potrebno odabrati barem jedan alternativni aerodrom destinacije, osim ako:

- Planirano trajanje leta od trenutka uzlijetanja do trenutka slijetanja ne prelazi 6 sati, i
- Na aerodromu destinacije dostupne su i spremne za korištenje dvije odvojene uzletno-sletne staze i prognozirana meteorološka izvješća najavljuju da će u periodu od jednog sata prije i jednog sata nakon očekivanog dolaska na aerodrom destinacije podniza oblaka biti barem na visini od 2000 ft ili na visini jednakoj visini kruženja („*Circling height*“) plus 500 ft, koja od te dvije vrijednosti je veća, i horizontalna vidljivost mora biti barem pet kilometara

Dva aerodroma destinacije moraju biti planirana u slučaju kada:

- Meteorološka izvješća ili prognoze za aerodrom destinacije najavljuju da u vremenskom periodu od jednog sata prije i jednog sata nakon planiranog dolaska zrakoplova na aerodrom destinacije, meteorološki uvjeti biti će ispod definiranih minimalnih vrijednosti, ili
- Zrakoplovne meteorološke informacije nisu dostupne za aerodrom destinacije u planirano vrijeme dolaska

#### **4.2.2. Alternativni aerodrom uzlijetanja**

Alternativni aerodrom uzlijetanja („*Take-off alternate*“) je kao što to i njegov naziv kaže – alternativni aerodrom koji se odabire kako bi poslužio za slijetanje zrakoplova ako to postane potrebno kratko nakon inicijalnog uzlijetanja. Alternativni aerodromi uzlijetanja obavezno se planiraju u slučajevima kada meteorološka izvješća ili prognoze ukazuju da će meteorološki uvjeti biti ispod minimuma potrebnih za slijetanje na aerodrom s kojeg se uzlijeće. [16]

Alternativne aerodrome uzlijetanja korisno je planirati i u slučajevima kada aerodrom s kojeg se uzlijeće ima zahtjevan prilaz, kratku uzletno sletnu stazu, kada je okružen nepovoljnim terenom, ili kada iz bilo kojeg drugog razloga slijetanje na njega donosi određeni rizik. Otežavajuća je okolnost to što je zrakoplov tek uzletio, dakle, pretpostavka je s obzirom na količinu goriva da mu je masa velika pa čak vjerojatno i veća od maksimalne dopuštene mase za slijetanje, što dodatno povećava udaljenost potrebnu za slijetanje.

Od dva aerodroma odabrana za prikaz procesa planiranja leta samo je jedan čija ga kombinacija okolnog terena i dužine piste čine iznimno zahtjevnim za slijetanje, a to je Innsbruck Airport (LOWI / INN). Za taj je slučaj kao alternativni aerodrom uzlijetanja odabran Munich Airport (EDDM / MUC).

### **4.2.3. Alternativni aerodrom na ruti**

Alternativni aerodrom na ruti je aerodrom koji se planira kako bi zrakoplov mogao na njega sletjeti u slučaju događaja koji zahtjeva nužno slijetanje dok je zrakoplov još na ruti („*En-route*“). Ukoliko se ova vrsta alternativnog aerodroma planira, obavezno je odabrati aerodrom koji se nalazi unutar dozvoljene definirane udaljenosti od planirane rute. [17]

## **5. Analiza podataka o performansama zrakoplova**

Prilikom planiranja leta, od esencijalnog je značaja odraditi i detaljno planiranje i izračun performansi kako bi znali točno koja nam je dužina uzletno-sletne staze potrebna za uspješno i sigurno izvođenje postupka uzlijetanja i slijetanja, kao i koja je optimalna visina za segment krstarenja pa i ima li ograničenja u pogledu maksimalne težine za uzlijetanje i/ili slijetanje kako bi znali moramo li ograničiti putnike i teret. Ovi se izračuni provode od strane letačke posade prije samog leta, a i od strane dispečera leta prilikom evaluacije i analize leta te prilikom izrade i prijave plana leta.

Prije prelaska na samu analizu konkretnih podataka o performansama za odabrane aerodrome, odnosno, odabranih uzletno-sletnih staza, upoznati ćemo se s terminologijom i zakonitostima ove tematike, a u svrhu boljeg razumijevanja analiza koje slijede.

### **5.1. Performanse kod uzlijetanja**

Prilikom uzlijetanja, zrakoplov mora postići određenu brzinu i određeni napadni kut kako bi se postigla ravnoteža sila uzgona i težine zrakoplova. Na kraju segmenta ubrzavanja na zemlji, pilot povlači palicu kako bi započeo s rotacijom. Tijekom ovog segmenta ubrzanje se održava, a napadni kut se povećava kako bi se postigla veća sila uzgona. Efekt blizine tla tada se postepeno smanjuje sve dok ne dođe do odvajanja od tla („*lift-off*“). Kao što je već spomenuto, analiza performansi mora uzeti u obzir mogućnost otkaza jednoga od motora tijekom uzlijetanja, motor čiji se otkaz uzima u obzir mora biti kritični motor. [1]

### 5.1.1. Brzine kod uzlijetanja

Kod segmenta uzlijetanja razlikujemo broj brzina koje piloti obavezno nadgledaju, a svaka od njih ima svoje značenje i važnost. Pa tako postoje brzine:  $V_1$ ,  $V_R$ ,  $V_{LOF}$ ,  $V_2$ ,  $V_{MBE}$ ,  $V_{TIRE}$ . [1]

Brzina  $V_1$  ili brzina odluke je maksimalna brzina pri kojoj letачka posada mora odlučiti hoće li nastaviti s uzlijetanjem ili ga obustaviti, a ukoliko ga obustave pri toj će brzini imati dovoljno uzletno-sletne staze na raspolaganju kako bi se pravovremeno zaustavili. [1]

$V_R$  ili brzina rotacije predstavlja brzinu pri kojoj pilot započinje s povlačenjem palice i rotacijom zrakoplova. Brzina rotacije ne smije biti manja od brzine odluke  $V_1$ .

$V_{LOF}$  je brzina pri kojoj se zrakoplov odvoji od zemlje, odnosno, brzina pri kojoj zrakoplov generira dovoljnu vrijednost sile uzgona koja tada nadvladava njegovu težinu.

Sigurna brzina uzlijetanja ili  $V_2$  („*Takeoff climb speed*“) je minimalna brzina penjanja koju zrakoplov mora postići na visini od 35 ft iznad površine uzletno-sletne staze kako bi osigurano sigurno penjanje u slučaju otkaza kritičnog motora. [1]

Prilikom obustave uzlijetanja, kočnice moraju apsorbirati i preusmjeriti nastalu količinu topline koja odgovara kinetičkoj energiji zrakoplova u trenutku odluke. Dakle, brzina  $V_{MBE}$  („*Maximum Brake Energy*“) ili brzina maksimalne energije kočenja je brzina pri kojoj je zrakoplov u mogućnosti potpuno se zaustaviti s određenom masom prilikom uzlijetanja, a da je kočioni sustav sposoban apsorbirati količinu topline zaprimljenu tijekom kočenja.

Brzina  $V_{TIRE}$  specificirana je od strane proizvođača, a predstavlja maksimalnu dozvoljenu brzinu koju zrakoplov smije postići na zemlji kako bi se ograničila vrijednost centrifugalnih sila i toplinske energije koje bi inače mogle predstavljati opasnost za strukturu guma. Zato brzina  $V_{TIRE}$  mora biti veća ili jednaka brzini  $V_{LOF}$  pri kojoj se zrakoplov odvaja od zemlje. Za gotovo sve Airbus modele zrakoplova,  $V_{TIRE}$  je jednaka 195 kt. [1]

### 5.1.2. Ograničenja uzletno-sletne staze

Kao što je istaknuto u poglavlju u kojemu je obrađen proces evaluacije adekvatnosti aerodroma, to može li pojedini zrakoplov operirati na određenoj uzletno-sletnoj stazi ili ne, ovisi o većem broju čimbenika, a neki od njih su i PCN („*Pavement Classification Number*“) te dužina uzletno-sletne staze. Oba čimbenika biti će obrađena u ovoj sekciji.

PCN („*Pavement Classification Number*“) je broj koji u kombinaciji s ACN-om („*Aircraft Classification Number*“) označava vrijednost nosivog kapaciteta materijala uzletno-sletne staze, stajanke, ili staze za taksiranje. Vrijednosti PCN-a publicirane su u Zbornicima zrakoplovnih informacija (AIP – „*Aeronautical Information Publication*“), dijelu 'Aerodromi'. PCN se izražava u obliku koda s pet oznaka koje su odvojene kosim crtama, a označavaju karakteristike kolnika na koji se odnose. ACN je broj kojim se izražava relativan učinak zrakoplova u određenoj konfiguraciji na strukturu kolnika za specificiran standard snage podloge. Masa zrakoplova na uzletno-sletnoj stazi ne smije prelaziti vrijednost koja je definirana PCN-om. To znači da ukoliko je najveća dopuštena težina zrakoplova za uzlijetanje veća od vrijednosti koja je dopuštena PCN-om, potrebno je ograničiti, odnosno, smanjiti masu zrakoplova kako ne bi došlo do oštećenja staze. [18]

Duljinu uzletno-sletne staze koja je deklarirana od strane zrakoplovnih vlasti kao dostupna i odgovarajuća za zalet zrakoplova pred uzlijetanje nazivamo raspoloživom duljinom za zalet ili TORA („*TakeOff Run Available*“). TORA može biti jednaka dužini piste, ili jednaka dužini od ulazne točke na pistu do njezinog kraja. Duljina piste potrebna za zalet pred uzlijetanje ne smije premašivati duljinu piste raspoloživu za zalet pred uzlijetanje. [19]

Raspoloživa duljina za uzlijetanje (TODA – „*TakeOff Distance Available*“) je raspoloživa duljina za zalet zajedno s raspoloživom duljinom čistine ako postoji. Čistina („*Clearway*“) je površina koja se nastavlja na uzletno-sletnu stazu u smjeru uzlijetanja s nagibom 1,25% prema gore, a osigurava zrakoplovu prostor za uzlijetanje bez umjetnih i prirodnih prepreka. [19]

Raspoloživa duljina za ubrzavanje i zaustavljanje (ASDA – „*Accelerate-Stop Distance Available*“) predstavlja raspoloživu duljinu za zalet zajedno s raspoloživom duljinom staze za zaustavljanje („*Stopway*“) ukoliko ona postoji. Zaustavna staza izgrađuje u nastavku uzletno-sletne staze za potrebe kada duljina staze za ubrzavanje i zaustavljanje u slučaju prekinutog uzlijetanja nije dovoljna. [19]

Uzimajući u obzir zahtjeve za uzletno-sletnu stazu, da sve raspoložive udaljenosti koje smo upravo obradili moraju biti jednake ili veće od istih udaljenosti koje su zrakoplovu potrebne, najveća dopuštena masa zrakoplova za uzlijetanje može biti ograničena za svaku od navedenih udaljenosti. Za primjer, kada je za određenu masu zrakoplova na uzlijetanju duljina potrebna za uzlijetanje jednaka raspoloživoj, ta je masa zrakoplova ujedno i najveća dopuštena masa za uzlijetanje ograničena mogućnostima uzletno-sletne staze.

### **5.1.3. Performanse kod penjanja i nadvisivanja prepreka**

Nakon uspješno odrađenog zaleta i uzlijetanja, pred zrakoplovom je segment penjanja i nadvisivanja prepreka. Nerijedak je slučaj da su uzletno-sletne staze

okružene zahtjevnim terenom ili brojem prepreka koje moraju biti uzete u obzir prije uzlijetanja kako bi ustanovili može li ih zrakoplov sve nadvisiti. Teren i prepreke naravno nije dovoljno samo nadvisiti, već je potrebno i osigurati njihovo minimalno sigurnosno nadvisivanje. To sigurnosno nadvisivanje prepreka, bazirano na smanjenju gradijenta penjanja, dovodi do definicija 'GROSS' i 'NET' putanje leta kod penjanja. 'GROSS' putanja leta je putanja leta kojom zrakoplov u stvarnosti leti, a 'NET' putanja leta je 'GROSS' putanja umanjena za obaveznu vertikalnu vrijednost kako bi se osiguralo obavezno sigurnosno nadvisivanje. Jednom kada u obzir uzmemo prepreke na putanji leta, najveća dopuštena masa u trenutku otpuštanja kočnica mora biti izračunata tako da 'NET' putanja leta osigurava nadvisivanje svih prepreka za obaveznu propisanu vrijednost sigurnosnog nadvisivanja. [1]

#### 5.1.4. Utjecaj vanjskih čimbenika na performanse

Osim karakteristika uzletno-sletne staze i prepreka koje ju okružuju, ograničavajući čimbenik nerijetko su i trenutni meteorološki uvjeti i parametri atmosfere. Pa stoga određivanje najveće dopuštene mase za uzlijetanje ograničene performansama mora biti izvedeno uzimajući u obzir vanjske čimbenike. Ti čimbenici koji u konačnici mogu utjecati i na 'payload' mogu drastično varirati iz dana u dan. Neki od najvažnijih vanjskih čimbenika su smjer i jačina vjetra, visina aerodroma po tlaku, temperatura okolnog zraka te stanje uzletno-sletne staze u vidu mogućih kontaminacija uzrokovanih oborinama ili vlagom.

Komponenta vjetra uzduž osi uzletno-sletne staze ima učinak na brzinu zaleta za uzlijetanje, a s time i na potrebne udaljenosti. Taj učinak nije nužno negativan, negativan je u slučaju leđnog vjetra („tailwind“), dok se u slučaju čeonog vjetra („headwind“) udaljenosti potrebne za uzlijetanje smanjuju. Najveća dopuštena masa za uzlijetanje mora biti računata s 50% stvarne komponente čeonog vjetra, ili sa 150% stvarne komponente leđnog vjetra. Iako komponenta bočnog vjetra ima svoju određenu maksimalnu vrijednost, ona nema učinka na performanse prilikom uzlijetanja.

Visina po tlaku izravno utječe na strukturu zrakoplova i performanse motora. Kako se visina po tlaku povećava, odgovarajući statički tlak i gustoća zraka opadaju. Također, s porastom visine po tlaku za određenu težinu zrakoplova, TAS („True airspeed“) mora biti uvećana kako bi kompenzirala za smanjenje gustoće okolnog zraka pa se stoga udaljenosti potrebne za uzlijetanje povećavaju. Učinak povećanja visine po tlaku na motore je isto tako negativan, njenim povećanjem opada potisak raspoloživ za uzlijetanje što dodatno povećava duljine potrebne za uzlijetanje. [1]

Učinak temperature sličan je učinku visine po tlaku. Dakle, s povećanjem okolne temperature zraka (OAT – „Outside Air Temperature“) smanjuje se njegova gustoća. Tada je također potrebno povećati vrijednost TAS-a kako bi se kompenziralo za smanjenje u gustoći zraka. Rezultat je povećanje udaljenosti potrebne za uzlijetanje.

Potisak za uzlijetanje (TOGA – „*Take Off / Go Around*“) ostaje konstantan i jednak '*Flat rated*' potisku, sve do određene vrijednosti okolne temperature zraka, nakon koje raspoloživ potisak počinje opadati. Posljedično, s povećanjem okolne temperature zraka, udaljenosti potrebne za uzlijetanje se povećavaju, a gradijent penjanja se smanjuje i nadvisivanje prepreka otežava. [1]

Osim stanja atmosfere, važno je u obzir uzeti i stanje uzletno-sletne staze koja može biti suha, vlažna, mokra, kontaminirana. Pista se smatra vlažnom kada joj površina nije suha, ali vlaga nije prisutna u tolikoj količini da bi njena površina imala sjajan izgled. Za razliku od vlažne, pista se smatra mokrom kada joj je površina prekrivena vodom dubine manje ili jednake 3 mm, ili kada je na njoj prisutna tolika količina vlage da ima sjajan izgled, ali sve to bez značajnih količina stajaće vode. Kontaminirana pista je ona kojoj je više od 25% površine prekriveno stajaćom vodom, bljuzgavicom, snijegom, ili ledom. Kontaminirane piste imaju isključivo negativan utjecaj na performanse. Kontaminacija u obliku snijega i leda umanjuju sile trenja, dok kontaminacija u obliku vode i bljuzgavice uz smanjenje sila trenja uzrokuju i vodeni klin te otpor oborina. [14]

## 5.2. Performanse kod slijetanja

Kod uobičajenih letачkih operacija, ukoliko je duljina uzletno-sletne staze zadovoljavajuća, ograničavajući čimbenici performansa prilikom slijetanja nisu prezahtjevni i najčešće autoriziraju otpremu zrakoplova na slijetanje pri najvećoj dopuštenoj strukturalnoj masi za slijetanje. Međutim, performanse kod slijetanja mogu biti drastično narušene u slučaju pojave kvarova određenih sustava, nepogodnih vremenskih uvjeta, ili kontaminiranih pista.

### 5.2.1. Brzine i ograničenja uzletno-sletne staze kod slijetanja

Kao i kod segmenta uzlijetanja, i kod slijetanja postoje referentne brzine, a neke od njih su  $V_{LS}$ ,  $V_{APP}$ ,  $V_{REF}$ ,  $V_{ALD}$ . [1]

Brzina  $V_{LS}$  („*Lowest selectable speed*“) je najmanja brzina kojom zrakoplov smije letjeti, a da se ne kompromitira sila uzgona. Tijekom slijetanja potrebno je prilaz držati stabilnim s kalibriranom brzinom ne manjom od  $V_{LS}$  sve do visine od 50 ft iznad praga uzletno-sletne staze. [1]

Brzina finalnog prilaza na slijetanje  $V_{APP}$  („*Final approach speed*“) je brzina zrakoplova tijekom slijetanja, na visini od 50 ft iznad površine uzletno-sletne staze. Upravljačke površine su u konfiguraciji za slijetanje, a stalni trap je izvučen. Brzina  $V_{APP}$  mora biti jednaka ili veća od brzine  $V_{LS}$ . [1]



U slučaju otkaza određenih sustava tijekom leta, hitnog slučaja („*emergency*“), ili abnormalne konfiguracije, izračuni performansi baziraju se na referentnoj konfiguraciji i referentnoj brzini.  $V_{REF}$  („*Reference speed*“) je brzina kojom se osigurava stabilna brzina prilaza na slijetanje na visini od 50 ft za određenu konfiguraciju za slijetanje. [1]

LDA („*Landing Distance Available*“) ili raspoloživa duljina za slijetanje je duljina raspoloživa i odgovarajuća za kretanje zrakoplova u slijetanju na zemlji. [19]

Potrebna duljina za slijetanje ili ALD („*Actual Landing Distance*“) je horizontalna udaljenost potrebna za slijetanje i potpuno zaustavljanje zrakoplova. Udaljenost ALD mjeri se od točke na kojoj je zrakoplov 50 ft iznad površine uzletno-sletne staze do točke u kojoj dolazi do potpunog zaustavljanja. Potrebna udaljenost za slijetanje mora biti manja ili jednaka raspoloživoj udaljenosti za slijetanje, u suprotnom je duljina piste ograničavajući čimbenik koji određuje najveću dopuštenu masu zrakoplova na slijetanju. [19]

### 5.3. Analiza podataka o performansama

Kako je u ovom radu naglasak na let komercijalnog zrakoplova, odnosno, let u komercijalne svrhe, izračuni podataka o performansama uzlijetanja i slijetanja moraju biti rađeni pomoću specijaliziranih programa koji su ažurirani s aktualnim podacima te certificirani od strane zrakoplovnih vlasti i time odobreni za korištenje u svrhe planiranja letova. Sukladno tome, analize podataka o performansama u ovome radu, kao i ostali podaci dobiveni izračunima biti će računati isključivo uz pomoć programa „*FlySmart +*“, koji je izrađen od strane Airbusa, a koji zadovoljava sve navedene kriterije i čest je odabir komercijalnih zrakoplovnih kompanija.

Zbog konfiguracije terena koji ga okružuje i karakteristika njegove uzletno-sletne staze, Innsbruck Airport (LOWI/INN) je aerodrom koji nameće ograničenja vrijednosti najveće dopuštene mase uzlijetanja za zrakoplov Airbus A320 pa je s toga za potrebe ovog rada pogodan za analiziranje. Kako bi se prikazale promjene vrijednosti maksimalnih masa za uzlijetanje tijekom godine, potrebno je napraviti poseban izračun za svaki mjesec s njegovim podacima. Analiza će biti napravljena za svaki od dva smjera uzletno-sletne staze zasebno. Za izračun podataka o performansama uzlijetanja i slijetanja pomoću programa „*FlySmart +*“, potrebne su sljedeće vrijednosti atmosfere: smjer i brzina vjetra, temperatura zraka te vrijednost atmosferskog tlaka na srednjoj razini mora (QNH). Također su nam potrebni podaci o stanju uzletno-sletne staze u vidu mogućih kontaminacija te informacija koristi li sustav protiv zaleđivanja tijekom uzlijetanja.

Podaci s kojima će izračuni biti rađeni, odnosno, vrijednosti određenih parametara atmosfere potrebnih za dobivanje izračuna performansi biti će njihove srednje vrijednosti za određeno promatrano razdoblje, a ti će podaci biti preuzeti s internetskih

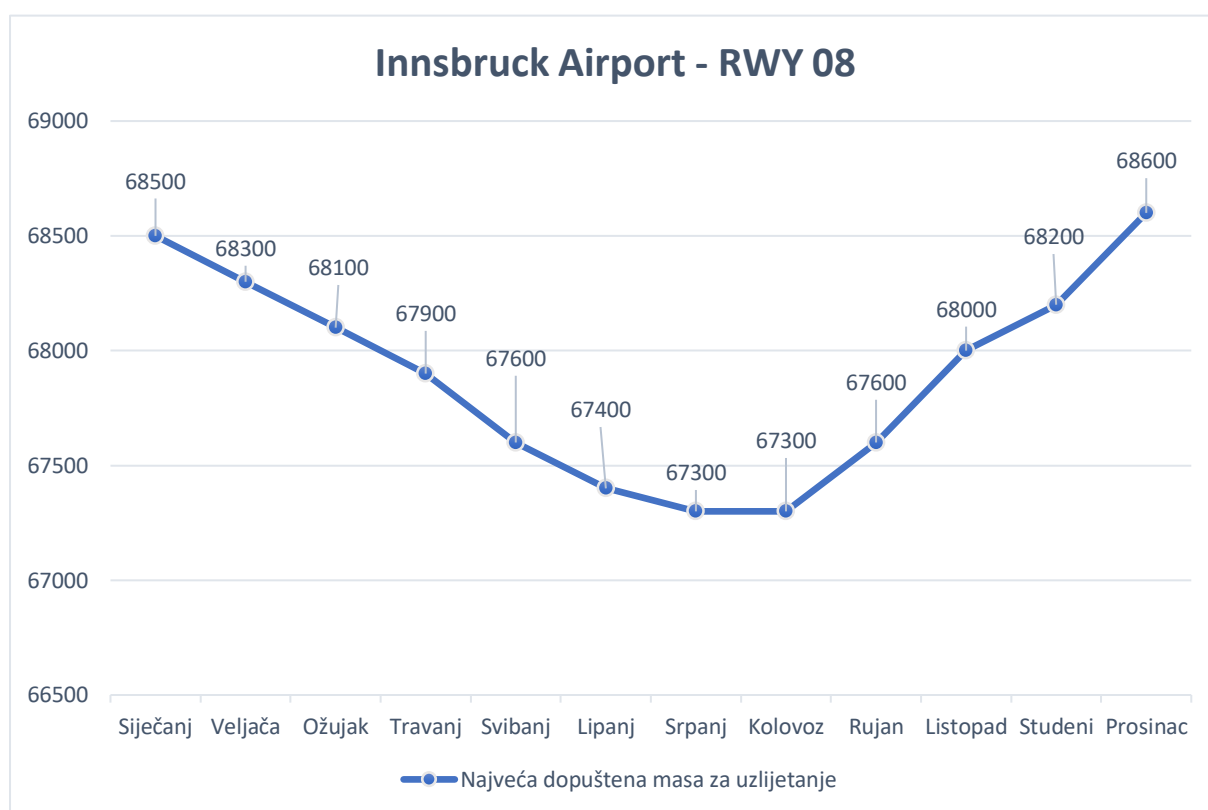
stranica koje se bave vremenskim prognozama i/ili posjeduju bazu podataka o parametrima atmosfere promatranim i mjerenim kroz duži vremenski period.

S obzirom na nedostupnost konkretnih i pouzdanih informacija o prosječnoj brzini vjetra i njegovom smjeru na poziciji uzletno sletne staze aerodroma u Innsbrucku, vrijednost tog podatka biti će definirana kao 0 kt za svaki od promatranih mjeseci. Za vrijednosti temperatura uzete su srednje vrijednosti temperatura koje u Innsbrucku prevladavaju tijekom dana, a razlog zašto su uzete baš dnevne vrijednosti je taj što je zračna luka Innsbruck za letenje u pravilu dostupna samo u doba dana, odnosno, kao što je ranije navedeno u tablici broj 1. Stanje uzletno-sletne staze označeno je kao mokro („Wet“) za sve mjesece kako bi izračuni bili jednaki i po tom kriteriju. Mokri uvjeti su razumni i učestali tijekom zimskih mjeseci zbog otapanja snijega, a za ostale mjesece postoji podatak o broju kišnih dana koji u većini slučajeva premašuje broj dana bez oborina. Sustav protiv zaleđivanja motora najčešće se koristi u rasponu temperatura od -10°C do +10°C, u uvjetima kada je zrak prezasićen vodenom parom, odnosno, u uvjetima magle i/ili niske naoblake pa je sukladno tome ostavljen uključenim prema potrebi. Tablica broj 4 prikazuje odabrane parametre te konačno i izračunati iznos najvećih dopuštenih masa za uzlijetanje za oba smjera uzletno sletne staze. Također, sve je to prikazano i grafički, grafikonima na slikama broj 13 i 14, a svaki od njih prikazuje krivulju promjene promatrane vrijednosti tijekom godine za određeni pravac uzletno-sletne staze.

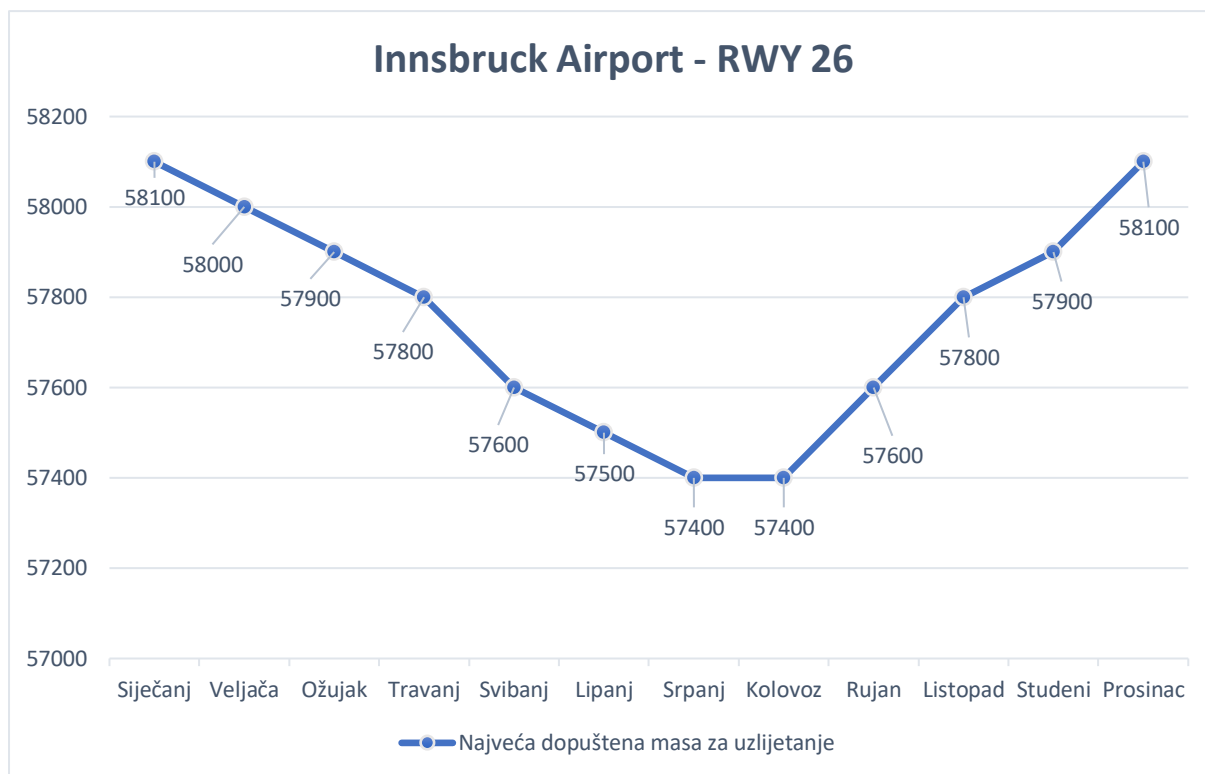
Tablica 4. Tablica izračuna performansi

MJESEC	OAT [°C]	QNH [hPa]	RWY CONDITION	ANTI-ICE	MTOM [T]	
					RWY 08	RWY 26
SIJEĆANJ	4	1019	WET	ON	68.5	58.1
VELJAČA	6	1017	WET	ON	68.3	58
OŽUJAK	10	1017	WET	ON	68.1	57.9
TRAVANJ	14	1016	WET	OFF	67.9	57.8
SVIBANJ	19	1016	WET	OFF	67.6	57.6
LIPANJ	22	1016	WET	OFF	67.4	57.5
SRPANJ	24	1017	WET	OFF	67.3	57.4
KOLOVOZ	24	1018	WET	OFF	67.3	57.4

<b>RUJAN</b>	20	1018	WET	OFF	<b>67.6</b>	<b>57.6</b>
<b>LISTOPAD</b>	15	1019	WET	OFF	<b>68</b>	<b>57.8</b>
<b>STUDENI</b>	8	1016	WET	ON	<b>68.2</b>	<b>57.9</b>
<b>PROSINAC</b>	4	1021	WET	ON	<b>68.6</b>	<b>58.1</b>



Slika 13. Graf 1 - Prikaz najvećih dopuštenih masa za uzlijetanje - INN RWY 08



Slika 14. Graf 2 - Prikaz najvećih dopuštenih masa za uzlijetanje - INN RWY 26

Iz priložene tablice i grafikona vidljivo je kako bez obzira na dodatan rad sustava protiv zaleđivanja, najpovoljnijim mjesecom za uzlijetanje pokazao se prosinac, a najnepovoljniji pokazali su se srpanj i kolovoz zbog viših temperatura za koje je već i ranije utvrđeno da negativno utječu na performanse motora.

Kod povoljnije, uzletno-sletne staze 08 u prosincu je moguće poletjeti 1300 kg teži u usporedbi sa srpnjem ili kolovozom. Kod manje povoljne staze, a to je uzletno-sletna staza 26 razlika između najpovoljnijeg prosinca i manje povoljnih ljetnih mjeseci je manja, a iznosi 700 kg. Slike broj 15 i 16 prikazuju dva izračuna u programu „FlySmart +“ za različite uzletno-sletne staze u identičnim meteorološkim uvjetima.

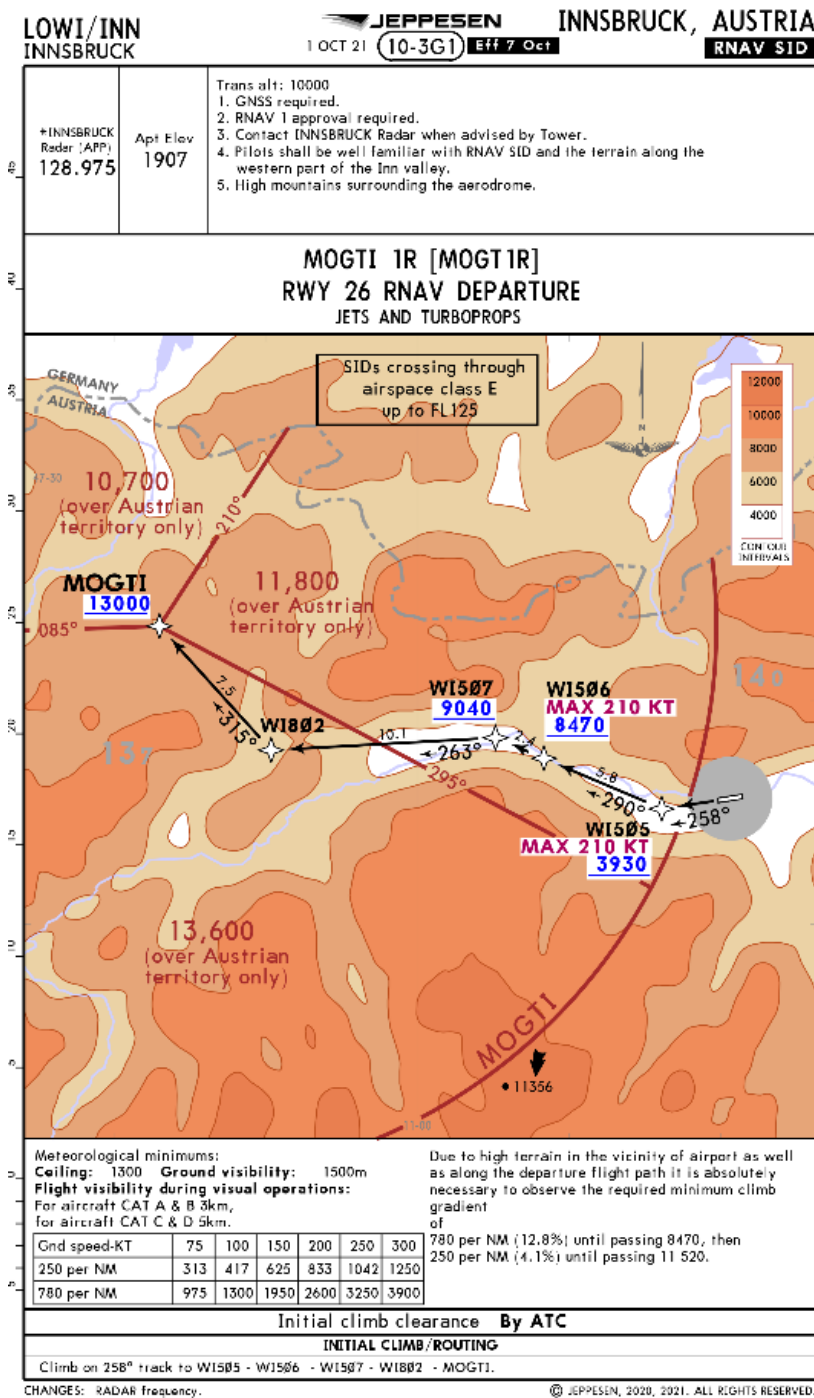


Slika 15. Izračun performansi uzlijetanja - INN RWY08 DEC



Slika 16. Izračun performansi uzlijetanja - INN RWY26 DEC

Iz priložene tablice, grafikona, i slika izračuna performansi može se iščitati kako je uzletno-sletna staza 08 daleko povoljnija za uzlijetanje od uzletno-sletne staze 26 pa tako staza 08 u najpovoljnijem mjesecu dopušta čak 10 500 kg veću masu za uzlijetanje od staze 26. Odgovor zašto je to tako uglavnom leži u konfiguraciji terena zbog koje zrakoplov nakon uzlijetanja s piste 26 kako bi nadvisio okolni planinski teren mora moći postići i držati zahtjevan gradijent penjanja. Prikaz jedne od RNAV procedura uzlijetanja s uzletno-sletne staze 26 vidi se na slici broj 17 [20].



Slika 17. Innsbruck RNAV Departure - MOGTI 1R [20]

Na slikama broj 18 i 19 prikazane su fotografije oba smjera uzletno-sletne staze aerodroma u Innsbrucku uz jasno vidljiv nepovoljan okružujući teren. Slike 18 i 19 preuzete su iz Jeppesenove baze podataka i sadrže trenutno valjane podatke [20].

<b>JEPPESEN</b>		<b>AIRPORT FAMILIARIZATION</b>	
1 SEP 23 (19-03)		<b>INNSBRUCK, AUSTRIA</b>	
<b>LOWI/INN</b>		<b>Rwy 08</b>	
1. Mountainous Terrain 2. Extensive Glider Activity 3. Severe Turbulence at Various Altitudes During Strong Winds		Apt Elev 1907' 0 NM West Innsbruck N47 15.6 E011 20.6	
① Applicable over Austrian territory only.			
<b>RUNWAY 08</b>			
<p>Visual vertical guidance is provided by PAPI (3.5°) on both sides of the runway.</p> <p>Standard and special LOC DME approaches precede circling visual approach procedures for this runway.</p> <p>This runway has a displaced threshold resulting in a landing distance beyond threshold of 6365' (1940m).</p> <p>This runway has an initial departure procedure followed by Innsbruck SIDs. The departure segments contain specified minimum climb gradients.</p>			

Slika 18. Jeppesen 19-03: Innsbruck Airport RWY 08 [20]



**LOWI/INN  
INNSBRUCK**

1. Mountainous Terrain 2. Extensive Glider Activity 3. Severe Turbulence at Various Altitudes During Strong Winds	Apt Elev 1907'	
	0 NM West Innsbruck	
	N47 15.6 E011 20.6	
① Applicable over Austrian territory only.		



**RUNWAY 26**

Visual vertical guidance is provided by PAPI (3.5°) on the left side of the runway.

For east arrivals, there are standard and special LOC DME approach procedures that provide straight-in landing minimums to this runway.

For west arrivals, there are standard and special LOC DME approach procedures followed by a visual approach procedure that provides circle-to-land minimums to this runway.

There are flashing approach guidance lights to this runway.

This runway has a landing distance beyond threshold of 6562 feet (2000m). The LDA is 6365 feet (1940m).

This runway has an initial departure procedure followed by Innsbruck SIDs. The departure segments contain specified minimum climb gradients.

CHANGES: MSA note, runway notes.

© JEPPESEN, 1994, 2023. ALL RIGHTS RESERVED.

Slika 19. Jeppesen 19-04: Innsbruck Airport RWY 26 [20]

Nakon analize performansa uzlijetanja preostalo je napraviti izračun performansa slijetanja. Kao što je ranije u radu navedeno – u slučaju standardnih komercijalnih letačkih operacija mogući ograničavajući čimbenici prilikom slijetanja najčešće nisu toliko ograničavajući kao što je slučaj prilikom uzlijetanja pa je čest slučaj da je zrakoplovu dozvoljeno slijetanje sa maksimalnom strukturalnom dozvoljenom masom za slijetanje. Za potrebe ovog rada planiranje letenja radimo s Airbusom A320 kojemu je maksimalna strukturalna dozvoljena masa za slijetanje jednaka 66 000 kg.

Prilikom slijetanja potrebno je usporiti zrakoplov pomoću korištenja kočnica na kotačima, aerodinamičkog otpora, trenja tla, i korištenja obrnutog potiska („*Thrust reverser*“) ukoliko je ta mogućnost dostupna na zrakoplovu, a sve u svrhu potpunog zaustavljanja. Za potrebe ovog izračuna koristiti ćemo se identičnim meteorološkim uvjetima, odnosno, parametrima atmosfere kao i kod izračuna performansi uzlijetanja. Također, na Airbusu A320 koji je operativni zrakoplov postoji mogućnost korištenja obrnutog potiska kao sredstva za dodatno usporavanje nakon „*touchdowna*“, a u svrhu rasterećenja sustava zrakoplova za izračun performansi slijetanja koristiti ćemo i opciju trenutnog gašenja klima uređaja za prostore kokpita i kabine, kao i opciju ručnog kočenja ukoliko bude potrebno. Opcija ručnog kočenja („*Manual brake mode*“) znači maksimalnu primjenu kočnica neposredno nakon dodira sa uzletno-sletnom stazom te zadržavanje kočenja do trenutka potpunog zaustavljanja zrakoplova.

Slike broj 20 i 21 na sljedećim stranicama prikazuju varijable dvaju izračuna performansi slijetanja i njihove konačne rezultate u obliku maksimalne dopuštene mase za slijetanje iz aspekta ograničenja performansama. Kao što je vidljivo iz slika, za ove konkretne izračune korištena su oba pravca uzletno-sletne staze aerodroma u Innsbrucku u kombinaciji s najmanje povoljnim dopuštenim meteorološkim uvjetima za slijetanje za koje je utvrđeno da se javljaju u mjesecu srpnju.

Rezultati izračuna dozvoljavaju slijetanje pri najvećoj dopuštenoj strukturalnoj masi za slijetanje koja je 66 000 kg, odnosno, uzletno-sletna staza u Innsbrucku u datim uvjetima ne nameće ograničenja mase za slijetanje.



Slika 20. Izračun performansi na slijetanju - INN RWY 08 JUL



Slika 21. Izračun performansi na slijetanju - INN RWY 26 JUL

Kao što je vidljivo iz slika broj 20 i 21, iako obje uzletno-sletne staze pružaju jednake duljine raspoloživih duljina za slijetanje – LDA, iznosa 1940 m, staza u smjeru 26 pogodnija je za slijetanje jer zrakoplovu ostaje sigurnosna margina od 123 m u usporedbi s marginom od 116 m koju dopušta smjer staze 08. Kod oba izračuna odabrani način kočenja je „*medium*“. Taj način rada kočnica nije u potpunosti ručni („*manual*“) koji je opisan u ranijem paragrafu, već je u usporedbi s njim nešto slabiji po pitanju kočenja kako bi održao ravnotežu između performansi kočnica i njezinih temperatura, a sve u svrhu očuvanja kočnica zbog mogućnosti daljnje upotrebe.

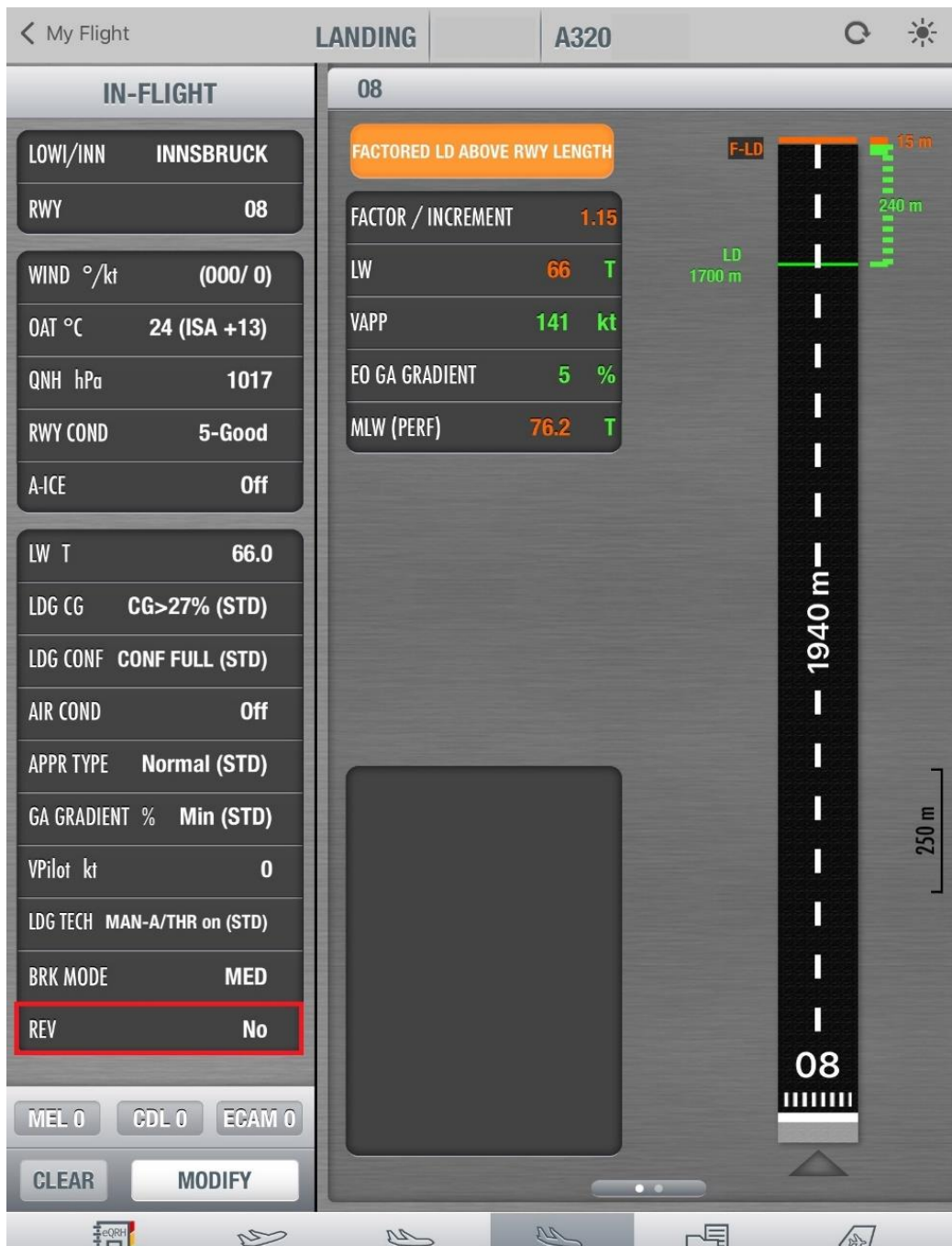
U svrhe analize performansi slijetanja biti će prikazani i slučajevi koji su nepogodni za slijetanje Airbusa A320 te program ograničava vrijednosti maksimalnih dopuštenih masa za slijetanje ograničenih performansama. Za potrebe ovih izračuna korištena je uzletno-sletna staza RWY 08 aerodroma u Innsbrucku, uz parametre atmosfere najnepogodnijeg mjeseca, a ustanovljeno je da je to srpanj. Za prvi od dva izračuna korištena je i dodatna otežavajuća okolnost leđnog vjetra jačine 5 kt, stanje uzletno-sletne staze označeno je kao „*good to medium*“, a za način kočenja odabrana je najzahtjevnija i najefikasnija opcija – „*manual*“. Ovaj je izračun prikazan slikom broj 22 na idućoj stranici, a iz nje je vidljivo da za slijetanje sa 66 000 kg nedostaje 187 m sigurnosne margine.

Ukoliko se tijekom planiranja leta dispečer susretne s ovakvom situacijom jedno od rješenja svakako je odabrati način na koji će se masa zrakoplova na slijetanju dovesti u dozvoljene okvire. To se može postići smanjenjem vrijednosti mase prtljage i/ili putnika, odnosno, „*payloada*“ prije uzlijetanja, ili odabirom bližeg alternativnog aerodroma, naravno ukoliko nam to mogućnosti dopuštaju, a kako bi se smanjila količina goriva potrebnog za odlazak na alternaciju te samim time i minimalna potrebna količina goriva za let.



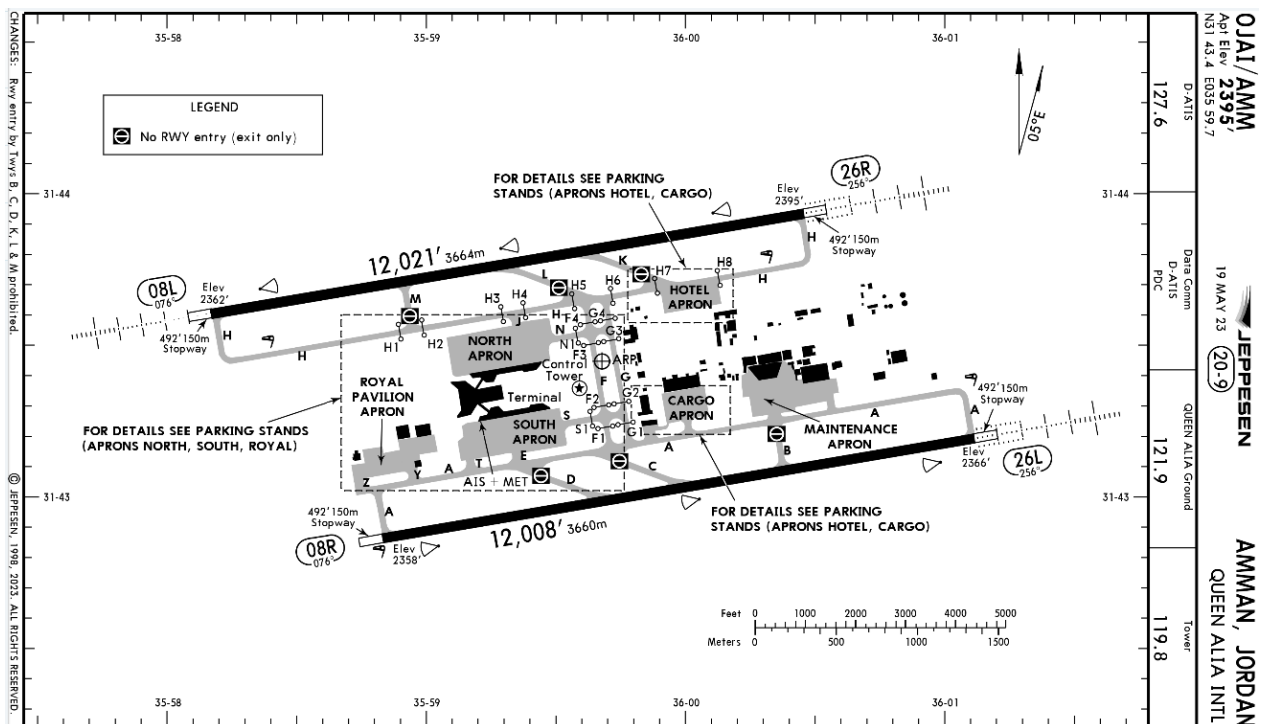
Slika 22. Izračun performansi na slijetanju s 5 kt leđnog vjetra - INN RWY08 JUL

Kao što je ranije napomenuto, performanse kod slijetanja mogu biti znatno degradirane u slučaju otkaza određenih sustava. Za prikaz takvog slučaja, prikazane će biti i performanse slijetanja bez mogućnosti korištenja opcije obrnutog potiska („*Thrust reverser*“). Taj je izračun prikazan na slici broj 23. Ako ga se usporedi sa ranijim izračunom sa slike pod brojem 20 kod kojega je računato s istim parametrima atmosfere, ali uz korištenje obrnutog potiska, može se iščitati kako je za slijetanje bez obrnutog potiska potrebno čak 1955 m, što je 131 m više od duljine potrebne za slijetanje uz korištenje obrnutog potiska. S obzirom da je uzletno-sletna staza duga 1940 m, slijetanje u ovim okolnostima nije dopušteno planirati.



Slika 23. Izračun performansi na slijetanju bez uporabe obrnutog potiska - INN RWY08 JUL

Što se tiče Queen Alia zračne luke u Ammanu koja je u ovom radu aerodrom destinacije, performanse uzlijetanja i slijetanja za Airbus A320 računate su, a rezultat je takav da za ni jedan od četiri smjera dviju dostupnih uzletno-sletnih staza ne postoje ograničenja ni u kojem slučaju. Na idućoj je stranici priložena slika broj 24 koja je zapravo kartica broj 20-9 preuzeta iz Jeppesenove baze podataka, a prikazuje duljinu uzletno-sletnih staza aerodroma AMM / OJAI koja iznosi preko 12 000 ft, odnosno, više od 3660 m [20].



Slika 24. Jeppesen 20-9: AMM Taxi Chart [20]

## 6. Izrada i usporedba operativnih planova leta

Operativni plan leta ili OFP („Operational Flight Plan“) je dokument koji je potrebno izraditi prije svakog leta, a služi kako bi se osiguralo da je zrakoplov u skladu sa svim operativnim zahtjevima za taj specifičan let. Također, svrha mu je pružiti letačkoj posadi skup podataka potrebnih za sigurno provođenje leta te koordinaciju s kontrolom letenja kroz čije će se FIR-ove („Flight Information Region“) let odvijati. Operativni plan leta uključuje podatke kao što su detalji o ruti koja će biti prijavljena za let, konkretne visine i brzine leta u određenim fazama leta, izračune o potrebnim količinama goriva koje moraju biti osigurane za određene svrhe, izračune vremena u kojima će zrakoplov biti na određenoj poziciji na ruti, podatke o planiranom broju putnika i njihovoj prtljazi, podatke o planiranim vremenima odlaska i dolaska, podatke o vrijednostima različitih masa zrakoplova...

Jedna od važnih uloga operativnog plana leta je i ta što se njegovom aktivacijom, odnosno, slanjem na određene AFTN adrese najavljuje izvođenje leta prema definiranim uvjetima navedenim u planu leta. Uz operativni plan leta postoji i ATC plan leta („ATC Flight Plan“), on je dokument koji pruža specifične informacije službama kontrole zračnog prometa relativne za taj let. ATC plan leta dio je jedne sekcije operativnog plana leta, a sve će zajedno biti prikazano u sljedećoj sekciji na odabranim primjerima.



## 6.1. Usporedba operativnih planova leta

U ovome će poglavlju biti uspoređeni planovi leta INN/LOWI – AMM/OJAI za različite meteorološke uvjete i različita godišnja doba. Operativni planovi leta biti će izrađeni sukladno podacima, odnosno, ograničenjima dobivenim prilikom izračuna performansa za aerodrome opsluživanja. Svrha je prikazati krajnji oblik operativnog plana leta te usporediti ograničenja u vidu dozvoljenih težina „*payloada*“ i određenih varijabli kao što je potrebna količina goriva. Planovi leta biti će izrađeni za uzlijetanje s oba smjera uzletno-sletne staze 08/26 aerodroma u Innsbrucku za mjesece srpanj i prosinac.

Kao što je bio slučaj kod izračuna performansi, i za izradu operativnih planova leta potrebno se koristiti specijaliziranim računalnim programom odobrenim za svrhe planiranja komercijalnih letačkih operacija. Program koji ćemo koristiti zove se „*PPS Flight Planning Software*“, Danske tvrtke „*Air Support A/S*“.

Kao primjer za upoznavanje s cijelim operativnim planom leta kakav će se koristiti za potrebe rada koristiti će se vremenski uvjeti u prosincu kao uvjeti za izračunate performanse koje ograničavaju određene parametre, ali će i program „*PPS Flight Planning Software*“ simulirati let kroz meteorološke uvjete, odnosno, kroz prosječne vrijednosti komponenti vjetrova koji prevladavaju u to doba godine na odabranoj ruti leta kako bi izračunao potrebnu količinu goriva. Uzletno-sletna staza za uzlijetanje biti će staza 08. Sve to znači da nam je najveća dopuštena masa za uzlijetanje ograničena na 68.6 T.

Na slici broj 26 prikazana je prva stranica tog konkretnog operativnog plana leta, koja će u svrhu lakše i kraće klasifikacije biti nazvana „RWY08 DEC“, a ostali planovi „RWY26 DEC“, „RWY08 JUL“ i „RWY26 JUL“. Dakle, nazivi su definirani oznakom uzletno-sletne staze i mjesecom u godini za koji je izračun izrađen. Kao što se može vidjeti, informacije su podijeljene u različite sekcije kako bi snalaženje po planu bilo brže i efikasnije.

„*Flight Info*“ sekcija daje podatke o broju leta („*Call Sign*“) koji je u ovome slučaju ABC123, registraciji i tipu zrakoplova, tipu leta (u ovome slučaju to je „*Charter*“), aerodromima opsluživanja, kao i odabranim alternativnim aerodromima te datumu za koji je let planiran.

„*Fuel Plan*“ sekcija kao što joj ime kaže daje izračune podataka o potrebnim količinama goriva za određene svrhe i izračunatu istrajnost leta za svaku od vrsta goriva. Pa je tako na primjer vidljivo da je količina „*Trip fuel*“ goriva jednaka 11 666 kg, a zrakoplov može s tom količinom letjeti 04 sata i 25 minuta. Također, u ovoj sekciji vidimo i da je za planiranje uzeto 500 kg goriva kao „*Discretion fuel*“ na diskreciju operativnog kapetana.

U idućoj je sekciji definiran broj posade, što je u ovome slučaju 3+4, odnosno, tri su člana kokpita (kapetan, prvi časnik, i mehaničar), a s obzirom da zrakoplov ima 180 sjedala potrebna su četiri člana kabinskog osoblja.

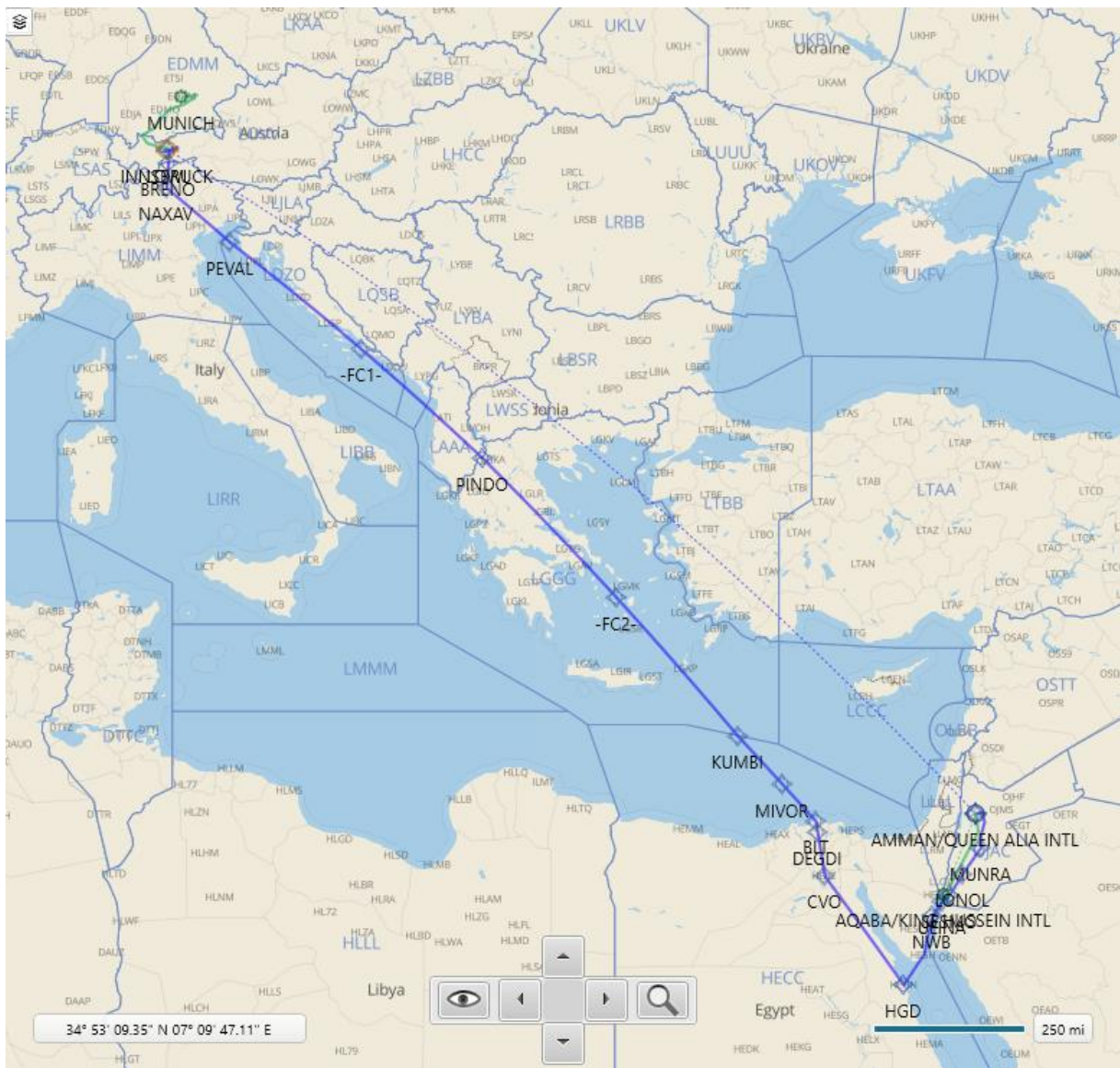
Sekcija „*Time UTC*“ definira planirana vremena uzlijetanja i slijetanja prema kojima su potvrđeni aerodromski slotovi tamo gdje je to potrebno, a nasuprot tih vremena stoje prazne linije gdje posada evidentira aktualna vremena jednom kada do njih dođe.

Sekcija „*Alternate*“ prikazuje podatke o potrebama za dolazak do alternativnih aerodroma kao što su količina goriva, vrijeme, udaljenost, i planirana razina leta.

„*Masses*“ je sekcija u kojoj su definirane strukturalne mase poput planirane mase za uzlijetanje i planirane mase za slijetanje na aerodrom destinacije te podaci o broju i težini putnika i njihove prtljage. S obzirom da je odabrani tip leta „*Charter*“, a za potrebe ovog izračuna ne postoji podatak o podjeli putnika prema spolu, ukupan broj putnika množi se s masom od 76 kg (koja je ranije definirana od strane zrakoplovnih vlasti) kako bi se dobila njihova ukupna planirana masa. Što se tiče predane prtljage, ona je ograničena na 15 kg po putniku pa se tako i izračunava. U ovom slučaju, s obzirom na ograničenja zbog performansi uzlijetanja dopušteno je uzeti 108 putnika, odnosno, masu „*payloada*“ od 9828 kg, dok je maksimalan broj putnika za ovaj konkretan zrakoplov ograničen na 180. U idealnim uvjetima maksimalna masa cjelokupnog „*payloada*“ mogla bi iznositi do 19 810 kg.

Sekcija „*Misc*“ sadrži podatke kao što su razina leta, planirani Machov broj, srednja vrijednost i smjer vjetra na ruti, srednje vrijednosti temperature na ruti, ukupna duljina rute i duljina ortodrome između aerodroma opsluživanja. Na prvoj stranici operativnog plana leta nalazi se i detaljna ruta s njenim točkama i mogućim planiranim promjenama brzine i razine leta.

Konkretna ruta koja je korištena, nije najkraća moguća ruta već ju je bilo potrebno prilagoditi zbog trenutnih oružanih sukoba pa tako zaobilazi izraelski FIR, a umjesto njega prolazi kroz egipatski zračni prostor za što je potrebna dozvola Egipatskih zrakoplovnih vlasti. Dobivena dozvola se unosi u „*Item 18*“ ATC plana leta pod „*RMK*“ („*Remarks*“) sekciju pa ju je i u ovome slučaju tamo moguće pronaći, a primjera radi upisana je pod „*EGYPT OVF PRMT 1*“. Također, tamo se nalazi i ranije spomenuta Jordanska dozvola za slijetanje. Planirana ruta vidljiva je na slici broj 25.



Slika 25. Prikaz planirane rute INN - AMM

WARNING ! flight plan based on 85% historical winds! month(s)=12

OFF		** STATION COPY **		PRP BY	
<b>FLIGHT INFO</b>			<b>CREW/SPRNRS O/B</b>		
FLTNO: ABC123			PIC: 1 F/O: 2 ACM: 7 ACM:		
DATE : 09.04.2024			SCM:3 CM2:4 CM3:5 CM4:6 CM5:		
REG :			CREW SELFBRIEFED FOR FLIGHT. CM6:		
ACFT : A320			PIC SIGN:		
TOF : Charter (76)			<b>TIME UTC</b>		
FROM : <b>LOWI INN INNSBRUCK</b> 1907			STD:15:00z BLOCK OFF : TAKE OFF :		
TO : <b>OJAI AMM AMMAN/QUEEN ALI</b> 2395			STA:19:25z BLOCK ON : LANDING :		
ERA : 0			<b>ALTERNATE</b>		
ALT1 : OJAO AQJ AQABA/KING HUSS 175			A1:F: 1570 T: 0:32 DIST:178 FL:220 MT:197		
ALT2 : 0			A2:F: 0 T: 0:00 DIST: 0 FL: 0 MT: 0		
T/O A: EDDM MUC MUNICH 1487			TO:F: 1439 T: 0:25 DIST:145 FL:150 MC: 11		
<b>FUEL PLAN</b>			<b>MASSES</b>		
TAXI : - 200			ESTIMATED (Kg )		
TRIP : 4:25 11666 ACT: _____ Kg			PAX : 108		
ALTN OJAO : 0:32 1570			PAX WGHT: 8208		
CONT 5% : 0:13 583			BAG/CGO : 1620		
FINAL RES : 0:30 1115			PAYLOAD : 9828		
ADDITIONAL: 0:00 0			ZFM : 53073 ACT: _____ Kg		
EXTRA : 0:00 0			TOM : 68508 ACT: _____ Kg		
MIN RQD : - 15135			LDM : 56842		
DISCRETION: 0:13 500 ACT: _____ Kg			<b>MISC</b>		
RAMP : 5:53 15635 ACT: _____ Kg			FL :SEE ICAO ATC TTL DIST: 1988 NM		
GAIN/LOSS : NOT AVAILABLE			PLN PROF: M.78 GC DIST : 1463 NM		
FUEL BURN ADJUSTMENT FOR 1000 KGS / 2205 LBS			AVG WD : 272/040 D TTL/GC: 1.36		
INCR/DECR IN TOM 137 Kg			AVG WC : 5 KTS TAIL FPL BSD ON 04091500		
			AVG ISA : -1 SRISE DEP/DEST:04:37/03:14		
			TOC ISA : 0 SSET DEP/DEST:17:56/16:01		
AVG DSCNT WND: FL300 264/044 FL240 264/051 FL180 263/034 FL100 263/034 FL050 263/034					
TAKE OFF DATA: V1   VR   V2   FLX   MARGIN   CONF.					
-----					
<b>ATC ROUTE</b> BRENO M726 NAXAV DCT NIVAS DCT BADOP DCT PEVAL DCT					
PINDO/N0447F390 DCT KUMBI L612 BLT A16 CVO L315					
HGD/N0447F380 R650 SHM/N0447F390 R650 NWB M690 ULINA M319					
SESMO UM690 MUNRA					
<b>SHORT ICAO ATC FLIGHT PLAN:</b>					
(FPL-ABC123-IN					
-A320/M-SDE1FGHIJ1RWXY/LB1					
-LOWI1500					
-N0447F370 BRENO M726 NAXAV DCT NIVAS DCT BADOP DCT PEVAL					
DCT PINDO/N0447F390 DCT KUMBI L612 BLT A16 CVO L315					
HGD/N0447F380 R650 SHM/N0447F390 R650 NWB M690 ULINA M319					
SESMO UM690 MUNRA					
-OJAI0425 OJAO					
-PBN/A1B1C1D1L101S2 DOF/240409 REG/ EET/LIMM0005					
LDZO0025 LYBA0105 LAAA0111 LGGG0124 HECC0238 OJAC0400					
SEL/DQJS CODE/501C1C RVR/075 OPR/ PER/C TALT/EDDM					
RMK/ EGYPT OVF PRMT 1 JORDAN OVF PRMT 2					
-E/0553 P/TBN R/VE J/L					
A/WHITE					
C/)					

Slika 26. Početna stranica OFF-a leta INN - AMM (RWY08 DEC)

Na donjem dijelu operativnog plana leta vidljiv je i ATC plan leta koji kao i uvijek sadrži velik broj informacija relevantnih za određene jedinice kontrole zračnog prometa, kao i ostale ATS jedinice ukoliko je to potrebno. Između ostaloga on sadrži podatke o opremi zrakoplova, ruti, planiranim aerodromima opsluživanja, vremenima uzlijetanja i slijetanja, i FIR-ovima koje bi let trebao zahvatiti.

Sljedeće stranice operativnog plana leta sadrže skup informacija o nazivima točaka („*Waypoint*“) i zračnih puteva („*Airway*“) odabrane rute, geografske koordinate točaka te „GMORA“ („*Grid Minimum Off-Route Altitude*“) i „MEA“ („*Minimum En-Route Altitude*“) visine. „GMORA“ je visina koja osigurava vertikalno nadvisivanje prepreka od 1000 ft u područjima gdje je elevacija terena do 5000 ft, i vertikalno nadvisivanje prepreka od 2000 ft u područjima gdje je elevacija terena veća od 5000 ft. „MEA“ je najniža visina između dva radio-navigacijska fiksa, a koja osigurava prihvatljivu razinu pokrivenosti signalom te je u skladu sa zahtjevima nadvisivanja prepreka između ta dva fiksa. Na ovoj se stranici također nalaze informacije o magnetskom pravcu („*Magnetic heading*“) i magnetskom smjeru („*Magnetic track*“), „*True airspeed*“ i „*Ground speed*“ brzinama, smjeru i jačini vjetra te temperaturi okolnog zraka, prijedenoj udaljenosti i preostaloj udaljenosti, proteklom i preostalom vremenu, potrošenom i preostalom gorivu te minimalnoj potrebnoj količini goriva za sigurno završavanje leta, i na kraju naziv FIR-a u kojemu se nalazi zrakoplov u datom trenutku.

Sve su te informacije podijeljene u stupce i retke, a prate napredak zrakoplova kroz njegovu rutu i sukladno tome se izmjenjuju od točke do točke. Obaveza letačke posade je da prate i kontroliraju podatke s operativnog plana leta tako da ih uspoređuju sa stvarnim, odnosno aktualnim vrijednostima koje iščitavaju s instrumenata i/ili FMS-a („*Flight Monitoring System*“).

Nakon posljednje točke na ruti do aerodroma destinacije počinje identičan skup informacija za odlazak na alternaciju u slučaju potrebe, a nakon te rute isto se ponavlja i za odlazak do aerodroma planiranog kao alternativni aerodrom za uzlijetanje. Ovo je prikazano na slikama 27 i 28 koje slijede.

WPT	AWY	LAT/LONG	GMORA	MT	TAS	WIND	DIST	ZT	TO	RTO	CAT	ACBO	FOB	FIR
LOWI	FL	N47:15.6	MEA	MH	GS	OAT	DTG	TTL	ETO		ATO	TOTAL	MRQ	
	1907ft	E011:20.6					1988	4:25				15435		
12OEV	BREN3HN	47:15.5	135	257	406	283/028	1	0	0:00		0	211		LOVV
	CLB	E011:19.5		259	415	VAR	1987	4:25				15424	14340	
D33NO	BREN3HN	47:15.7	135	273	406	283/028	2	0	0:00		0	234		LOVV
	CLB	E011:16.4		274	415	VAR	1985	4:25				15401	14318	
TH248	BREN3HN	47:15.6	135	259	406	283/028	1	0	0:00		0	245		LOVV
	CLB	E011:15.3		261	415	VAR	1984	4:25				15390	14307	
TH203	BREN3HN	47:14.9	135	220	406	283/028	1	0	0:00		0	256		LOVV
	CLB	E011:14.2		223	415	VAR	1983	4:25				15379	14295	
TH158	BREN3HN	47:13.9	135	175	406	283/028	1	0	0:00		0	267		LOVV
	CLB	E011:14.3		179	415	VAR	1982	4:25				15368	14284	
TH113	BREN3HN	47:13.2	135	130	406	283/028	1	0	0:00		0	279		LOVV
	CLB	E011:15.3		132	415	VAR	1981	4:25				15356	14273	
TH74	BREN3HN	47:13.2	135	088	406	283/028	1	0	0:00		0	290		LOVV
	CLB	E011:16.6		087	415	VAR	1980	4:25				15345	14262	
LOEJ	BREN3HN	47:18.9	135	062	406	283/028	14	2	0:02		0	447		LOVV
	CLB	E011:36.1		059	415	VAR	1966	4:23				15188	14104	
TH103	BREN3HN	47:18.9	135	084	406	283/028	1	0	0:02		0	459		LOVV
	CLB	E011:37.2		083	415	VAR	1965	4:23				15176	14093	
TH148	BREN3HN	47:18.3	135	123	406	283/028	1	0	0:02		0	470		LOVV
	CLB	E011:38.4		124	415	VAR	1964	4:23				15165	14082	
TH193	BREN3HN	47:17.3	135	168	406	283/028	1	0	0:02		0	481		LOVV
	CLB	E011:38.6		171	415	VAR	1963	4:23				15154	14071	
TH238	BREN3HN	47:16.5	135	213	406	283/028	1	0	0:02		0	492		LOVV
	CLB	E011:37.7		217	415	VAR	1962	4:23				15143	14059	
INN	BREN3HN	47:13.8	135	250	406	283/028	9	1	0:03		0	594		LOVV
	CLB	E011:24.1		252	415	VAR	1953	4:22				15041	13958	
BRENO	BREN3HN	46:58.8	138	180	406	283/028	15	2	0:05		0	762		LIMM
	CLB	E011:22.6		184	415	VAR	1938	4:20				14873	13790	
EKPIS	M726	N46:47.2	138	180	406	283/028	12	2	0:07		0	897		LIMM
	CLB	E011:21.3		184	415	VAR	1926	4:18				14738	13655	
NAXAV	M726	N46:27.8	138	180	406	283/028	20	3	0:10		0	1122		LIMM
	CLB	E011:19.3155		184	415	VAR	1906	4:15				14513	13430	
NIVAS	DCT	N45:54.0	138	126	406	283/028	52	8	0:18		0	1707		LIMM
	CLB	E012:16.9		128	415	VAR	1854	4:07				13928	12845	
BADOP	DCT	N45:27.7	72	127	406	283/028	40	6	0:24		0	2156		LIMM
	CLB	E013:00.2		129	415	VAR	1814	4:01				13479	12395	
-TOC-	DCT	N45:22.4	60	127	406	283/028	8	1	0:25		0	2246		
	CLB	E013:08.8		129	415	VAR	1806	4:00				13389	12306	
PEVAL	DCT	N45:18.7	60	127	447	294/030	6	1	0:26		0	2281		LDZO
	370	E013:14.9		128	455	-56 1800	3:59					13354	12270	
		RVSM: ALT DIFF LH				FT / SB								
						FT / RH								

Log Nr.:5203 Page 4 PPS 11. 112. 2. 0 3 To be continued next page.....

Slika 27. Drugi segment OFF-a leta INN - AMM (RWY08 DEC)

WPT FREQ	AWY FL	LAT/LONG	GMORA MEA	MT MH	TAS GS	WIND OAT	DIST DTG	ZT TTL	TO ETO	RTO	CAT ATO	ACBO TOTAL	FOB MRQ	FIR
MUNRA	UM690	N30:49.7	77	030	357	263/034	42	8	4:15		0	11751		OJAC
	DSC	E036:08.6		027	366	VAR	68	0:10				3884	2800	
AI608	MUNR6AN31:	09.7	46	356	357	263/034	20	3	4:18		0	11785		OJAC
	DSC	E036:08.9		351	366	VAR	48	0:07				3850	2767	
AI607	MUNR6AN31:	23.2	44	010	357	263/034	14	2	4:20		0	11809		OJAC
	DSC	E036:13.3		005	366	VAR	34	0:05				3826	2743	
AI269	MUNR6AN31:	30.4	44	010	357	263/034	8	1	4:21		0	11822		OJAC
	DSC	E036:15.6		005	366	VAR	26	0:04				3813	2729	
ASPAL	MUNR6AN31:	39.9	44	345	357	263/034	9	1	4:22		0	11837		OJAC
	DSC	E036:13.6		340	366	VAR	17	0:03				3798	2714	
MIDRU	MUNR6AN31:	45.7	44	345	357	263/034	6	1	4:23		0	11848		OJAC
	DSC	E036:12.5		340	366	VAR	11	0:02				3787	2704	
FI26R	MUNR6AN31:	45.0	44	255	357	263/034	4	1	4:24		0	11854		OJAC
	DSC	E036:07.7		256	366	VAR	7	0:01				3781	2697	
RW26R	MUNR6AN31:	43.9	44	255	357	263/034	7	1	4:25		0	11866		OJAC
	DSC	E036:00.5		256	366	VAR	0	0:00				3769	2686	
OJAI	MUNR6AN31:	43.4	53	229	357	263/034	0	0	4:25			11866		
2395ft		E035:59.7		232	366	VAR	0	0:00				3769	2686	
Alternate OJAQ LOSIL M319 LOXUS														
149D	SID	N31:42.7	53	259	332	VAR/VAR	6	1	4:26		2	11964		OJAC
	CLB	E035:52.1			287	VAR	172					3671	2588	
TH232	SID	N31:42.4	53	242	332	VAR/VAR	1	0	4:26		2	11980		OJAC
	CLB	E035:51.3			287	VAR	171					3655	2571	
TH187	SID	N31:41.5	53	203	332	VAR/VAR	1	0	4:26		2	11997		OJAC
	CLB	E035:50.8			287	VAR	170					3638	2555	
TH169	SID	N31:41.1	53	172	332	VAR/VAR	1	0	4:26		3	12013		OJAC
	CLB	E035:50.8			287	VAR	169					3622	2539	
R3280	SID	N31:28.9	53	159	332	VAR/VAR	12	3	4:29		3	12209		OJAC
	CLB	E035:55.0			287	VAR	157					3426	2343	
QTR	SID	N31:14.9	53	147	332	VAR/VAR	16	3	4:32		3	12470		OJAC
	CLB	E036:03.6			287	VAR	141					3165	2081	
LOSIL	SID	N30:48.9	77	203	458	264/045	30	5	4:37		2	12800		OJAC
	220	E035:47.7			410	-29	111					2835	1751	
LOXUS	M319	N30:13.0	77	203	458	264/045	40	6	4:43		2	13148		OJAC
	220	E035:26.0070			410	-29	71					2487	1404	
QATIM	STAR	N29:56.0	81	203	458	VAR/VAR	19	3	4:46		2	13302		OJAC
	DSC	E035:16.0			411	VAR	52					2333	1250	
LOXAL	STAR	N29:23.7	81	193	325	VAR/VAR	34	7	4:53		3	13390		OJAC
	DSC	E035:04.9			277	VAR	18					2245	1162	

Log Nr.:5203 Page 6 PPS 11. 112. 2. 0 3 To be continued next page.....

Slika 28. Treći segment OFP-a leta INN - AMM (RWY08 DEC)

Program „PPS Flight Planning Software“ nudi mogućnosti računanja sadržaja operativnog plana leta uz korištenje opcije „Customized Historical Winds“. Ta opcija nudi izbor jednog ili više uzastopnih mjeseci koji se tada koriste kao referentno razdoblje za korištenje srednjih vrijednosti parametara atmosfere. Te se vrijednosti zatim primjenjuju na odabranu rutu i karakteristike zrakoplova. Zanimljiv podatak koji je moguće ekstrahirati nakon izrade operativnih planova leta za svaki mjesec pojedinačno jesu vrijednosti vjetra, odnosno njegova prosječna komponenta i prosječan smjer iz kojeg puše uz prosječnu brzinu. Prosječna komponenta je definirana predznakom +/- koji predstavlja leđni ili čeonu vjetar te brzinom, a dobivena je projekcijom prosječnog smjera i jačine vjetra na odabranu rutu leta. Podaci o karakteristikama vjetra na ruti relevantni su jer predstavljaju čimbenik koji diktira potrošnju, odnosno količinu goriva potrebnu za let. Tablica broj 5 prikazuje vrijednosti prosječnih komponenti vjetra za svaki mjesec u godini.

Tablica 5. Vrijednosti vjetra na ruti INN - AMM

<b>INN - AMM</b>			
<b>Mjesec</b>	<b>AVG Wind Component [kt]</b>	<b>AVG Wind Direction [°]</b>	<b>AVG Wind Speed [kt]</b>
<b>Siječanj</b>	+5	271	40
<b>Veljača</b>	+6	273	40
<b>Ožujak</b>	+5	273	40
<b>Travanj</b>	+3	269	39
<b>Svibanj</b>	+2	267	36
<b>Lipanj</b>	+3	264	37
<b>Srpanj</b>	0	258	35
<b>Kolovoz</b>	-2	255	35
<b>Rujan</b>	0	259	35
<b>Listopad</b>	0	264	34
<b>Studeni</b>	+4	271	38
<b>Prosinac</b>	+5	272	39

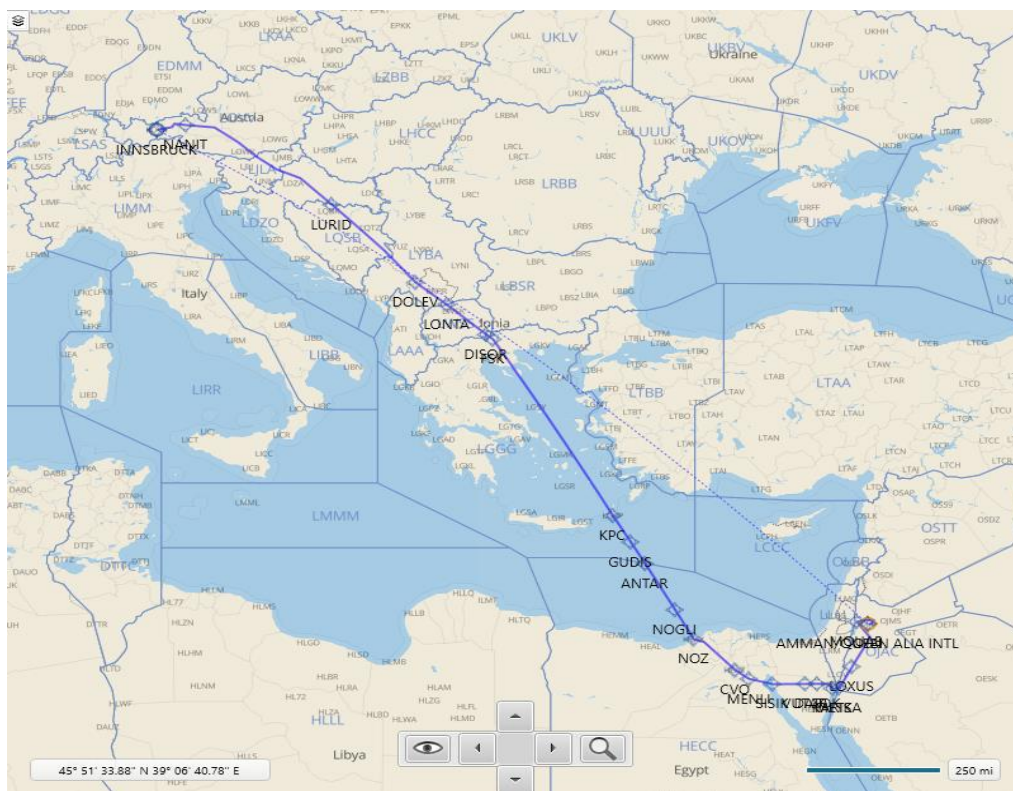


Iz prikazanih podataka može se iščitati kako je prosječna komponenta vjetra („AVG Wind Component“) za let INN – AMM povoljna jer kroz osam mjeseci zrakoplov bi pratio leđni vjetar, za tri mjeseca iznos prosječne komponente bila bi nula, dok je samo u kolovozu prosječna komponenta vjetra čeonu vjetar.

S obzirom na vrijednosti prosječnog smjera vjetra („AVG Wind Direction“) i na međusoban položaj aerodroma opsluživanja, može se doći do zaključka kako bi u slučaju povratnog leta prosječna komponenta vjetra bila nepovoljna, odnosno, prevladavao bi čeonu vjetar. Za potrebe ove usporedbe vjetrova na ruti, izrađeni su i operativni planovi za povratan let AMM – INN, a prikazani su tablicom broj 6. Ruta korištena za izradu ovog OFP-a maksimalno je sličnih karakteristika kao i prva ruta, a dobiveni rezultati potvrđuju ranije naveden zaključak. Ruta AMM – INN prikazana je na slici broj 29.

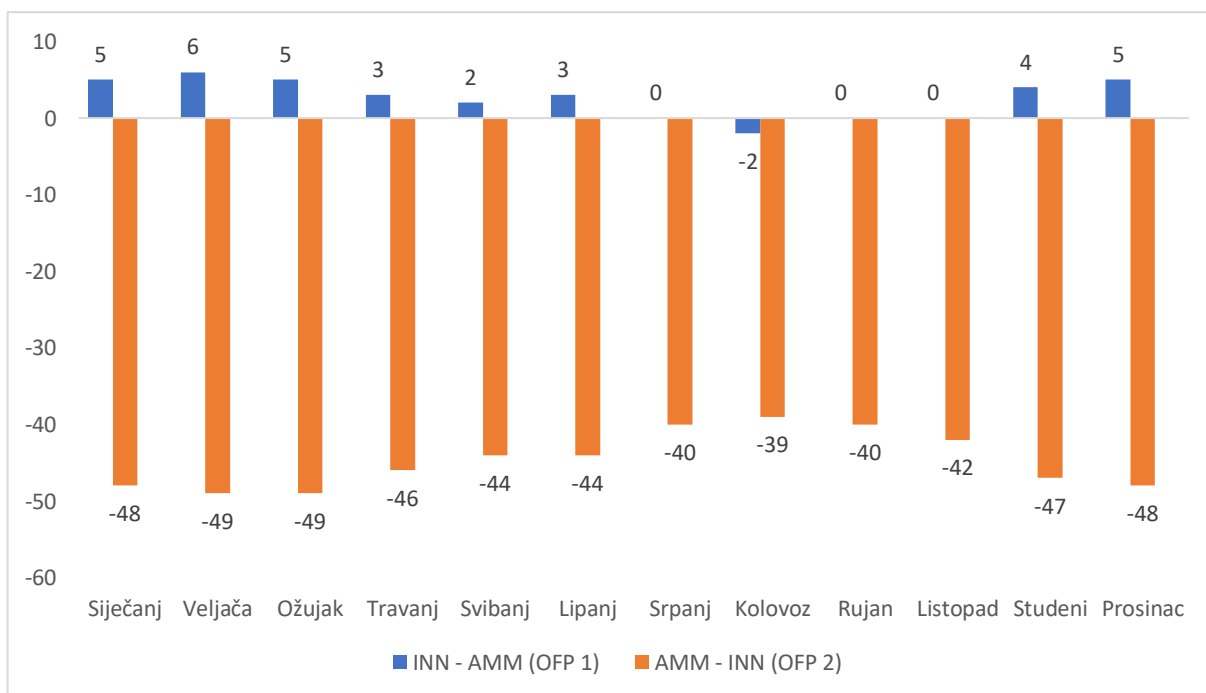
Tablica 6. Vrijednosti vjetra na ruti AMM - INN

<b>AMM - INN</b>			
<b>Mjesec</b>	<b>AVG Wind Component [kt]</b>	<b>AVG Wind Direction [°]</b>	<b>AVG Wind Speed [kt]</b>
<b>Siječanj</b>	-48	271	39
<b>Veljača</b>	-49	273	39
<b>Ožujak</b>	-49	273	39
<b>Travanj</b>	-46	269	38
<b>Svibanj</b>	-44	268	35
<b>Lipanj</b>	-44	263	37
<b>Srpanj</b>	-40	258	36
<b>Kolovoz</b>	-39	256	35
<b>Rujan</b>	-40	259	35
<b>Listopad</b>	-42	266	33
<b>Studeni</b>	-47	272	37
<b>Prosinac</b>	-48	273	38



Slika 29. Odabrana ruta za let AMM - INN

Na slici broj 30 prikazan je graf usporedbe podataka prosječnih komponenti vjetrova, gdje su na osi X mjeseci u godini, a na osi Y vrijednosti vjetrova. Pozitivne vrijednosti predstavljaju ledni vjetar, a negativne čeonni.



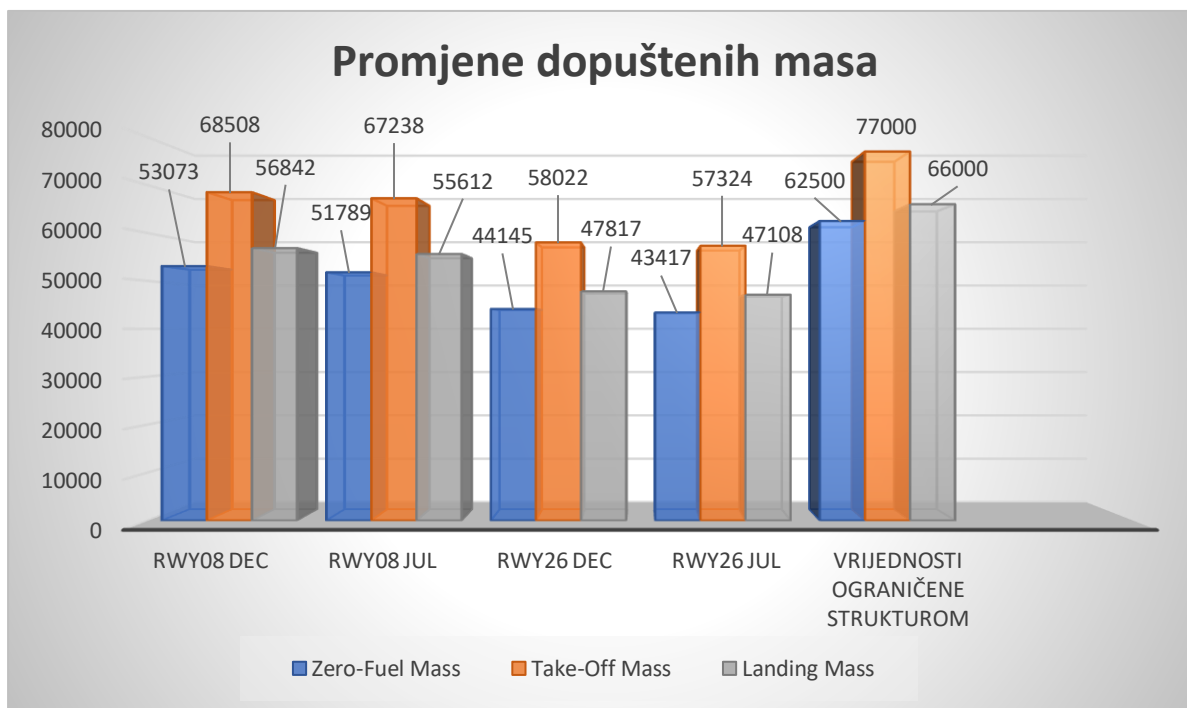
Slika 30. Graf 2 - Promjene vrijednosti vjetrova kroz godinu na relaciji INN – AMM – INN

Nakon izrade operativnih planova leta za sve četiri od navedenih varijanti leta INN – AMM, njihovi će izračunati podatci biti ubačeni u tablicu i dijagrame za lakše očitavanje i vizualizaciju dobivenih razlika. Pa tako tablica broj 7 i grafički prikazi na slikama pod brojevima 31 i 32 prikazuju spomenute izračunate podatke.

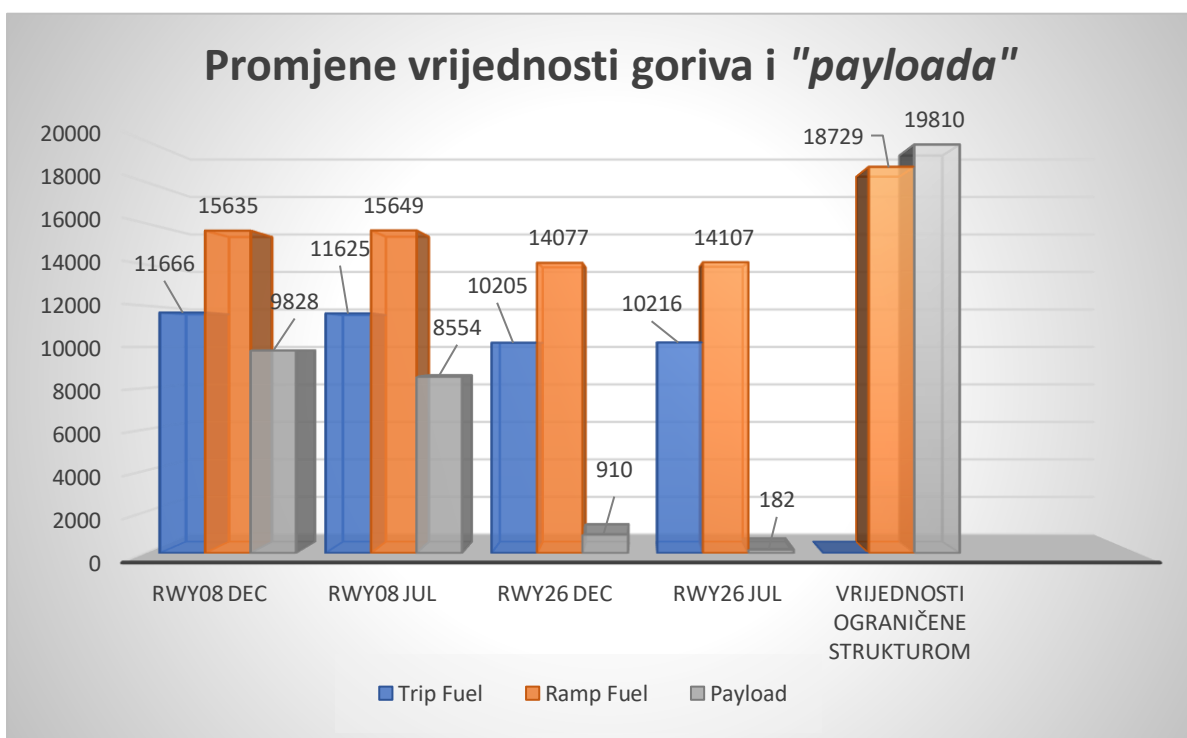
Tablica 7. Izračuni parametara leta za oba pravca USS-e za dva amplitudna mjeseca

	RWY 08 DEC	RWY 08 JUL	RWY 26 DEC	RWY 26 JUL	Maksimalna vrijednost
<b>PAX number</b>	108	94	10	2	180
<b>Payload [kg]</b>	9828	8554	910	182	19810
<b>ZFM [kg]</b>	53073	51789	44145	43417	62500
<b>TOM [kg]</b>	68508	67238	58022	57324	77000
<b>LDM [kg]</b>	56842	55612	47817	47108	66000
<b>Trip fuel [kg]</b>	11666	11625	10205	10216	/
<b>Ramp fuel [kg]</b>	15635	15649	14077	14107	18729

Parametar kojeg nema u grafovima, a nalazi se u tablici je broj putnika („*PAX number*“). Broj putnika u odnosu na uzletno-sletnu stazu i godišnje doba značajno varira pa je tako razlika između najpovoljnije i najnepovoljnije konfiguracije u čak 106 putnika od dostupnih 180 sjedala. Parametar koji je direktno vezan za te brojke je i „*payload*“, a čija je razlika isto tako drastična. Najpovoljnija konfiguracija dozvoljava 9828 kg, dok najnepovoljnija samo 182 kg od mogućih 19 810 kg. Razlika u „*payloadu*“ je, dakle punih 9646 kg što je svakako značajna brojka.



Slika 31. Graf 3 - Promjena dopuštenih masa za različite USS-e i amplitudne mjesece



Slika 32. Graf 4 - Promjene vrijednosti goriva i "payloada" za različite USS-e i amplitudne mjesece

Iz grafikona na slici broj 31 vidi se velik raspon razlika u dopuštenim strukturalnim masama za uzete letove. Razlike između dviju uzletno-sletnih staza su izuzetno velike baš kao što je to bio slučaj i s ranije izračunatim razlikama u performansama tih dviju staza. Što se godišnjih doba tiče razlike u masama za uzletno-sletnu stazu 08 iznose od 1230 kg do 11 284 kg, dok je isti raspon razlika za stazu 26 od 698 kg do 728 kg.

Slika broj 32 grafom prikazuje razlike u potrebnoj količini goriva i „payloadu“ te ih ponovno uspoređuje s maksimalnim mogućim vrijednostima. Ono što je zanimljivo jest podatak da je razlika u „Trip fuel“ gorivu između najpovoljnijeg slučaja „RWY08 DEC“ i najnepovoljnijeg slučaja „RWY26 JUL“ iznosi 1450 kg, dok se razlika u dopuštenom „payloadu“ između ta dva slučaja penje na čak 9646 kg.

S obzirom na relativno rizično planiranje ovakvog komercijalnog leta iz gledišta isplativosti i profitabilnosti, bilo bi dobro istražiti postoji li kakvo moguće rješenje koje bi umanjilo taj rizik i povećalo isplativost leta. Jedan od prijedloga svakako bi bio promijeniti najviše ograničavajući čimbenik, a to je aerodrom polaska. S obzirom da je München od Innsbrucka udaljen svega otprilike dva sata vožnje autom, a Munich Airport (EDDM / MUC) je zračna luka čije uzletno-sletne staze ne ograničavaju uzeti zrakoplov u ni u kojem pogledu što se tiče performansi uzlijetanja i slijetanja te zato dozvoljava uzlijetanje sa strukturalno ograničenom najvećom dopuštenom masom za uzlijetanje (MTOM – „Maximum Take-Off Mass“), aviokompanija bi mogla aerodrom u Innsbrucku zamijeniti onim u Münchenu i tako riješiti problem „payloada“.

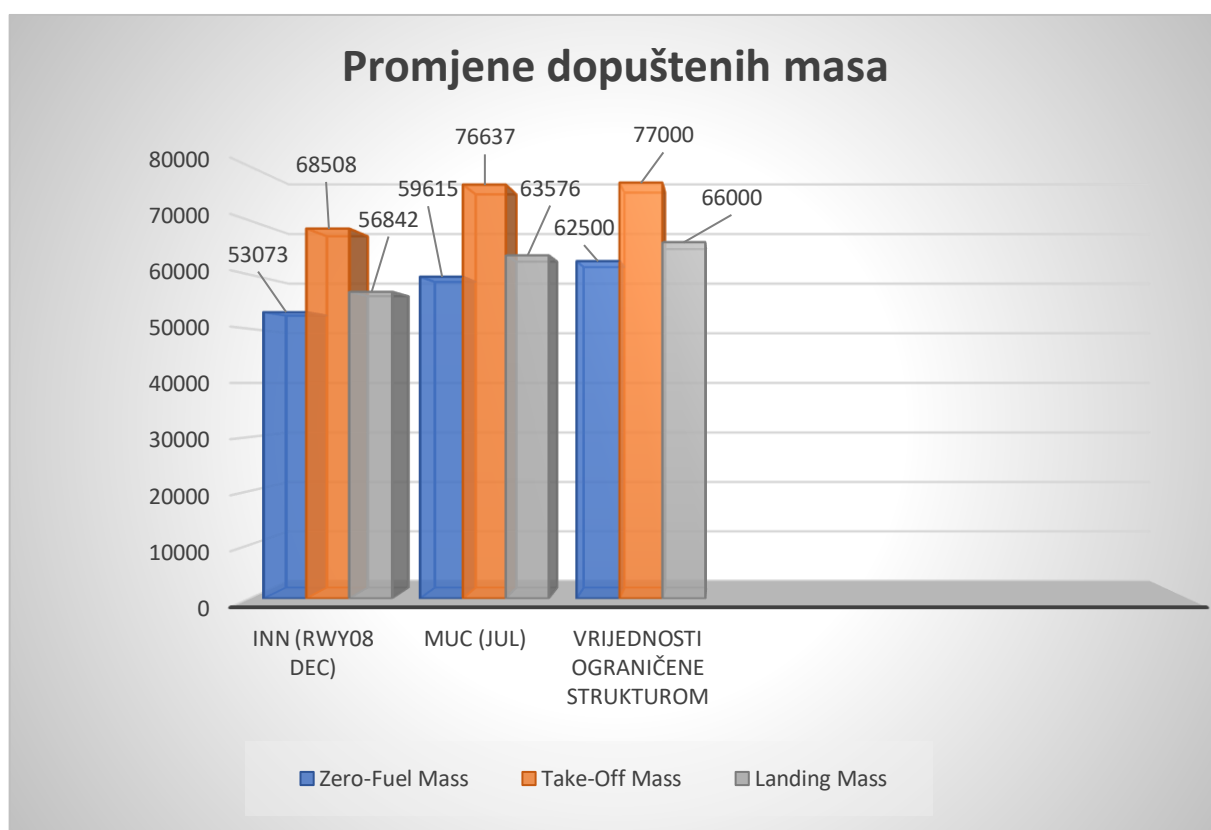
Slika broj 31. na idućoj stranici prikazuje operativni plan leta za Queen Alia aerodrom u Ammanu, ali ovog puta s polaskom iz Münchena. Korištena je gotovo identična ruta, u meteorološkim uvjetima mjeseca srpnja te je uzeto 500 kg goriva na diskreciju kapetana kao i u ranijim planovima s polaskom iz Innsbrucka. U operativnom planu leta s polaskom iz Münchena ukupna duljina rute iznosi 2007 NM, dok je ukupna duljina rute s polaskom iz Innsbrucka duga 1988 NM, i razlika u trajanju leta je zanemariva, a iznosi svega 8 min u korist polaska iz Innsbrucka. Jedina veća razlika je ona u potrošenom gorivu, ona iznosi 1395 kg. Nakon odrađenog izračuna performansi i izrađenog operativnog plana leta, jasno je vidljivo je zrakoplov za ovaj let moguće iskoristiti maksimalno u vidu „payloada“ za naš planirani „charter“ let što ga čini boljom opcijom.

WARNING ! flight plan based on 85% historical winds! month(s)=7

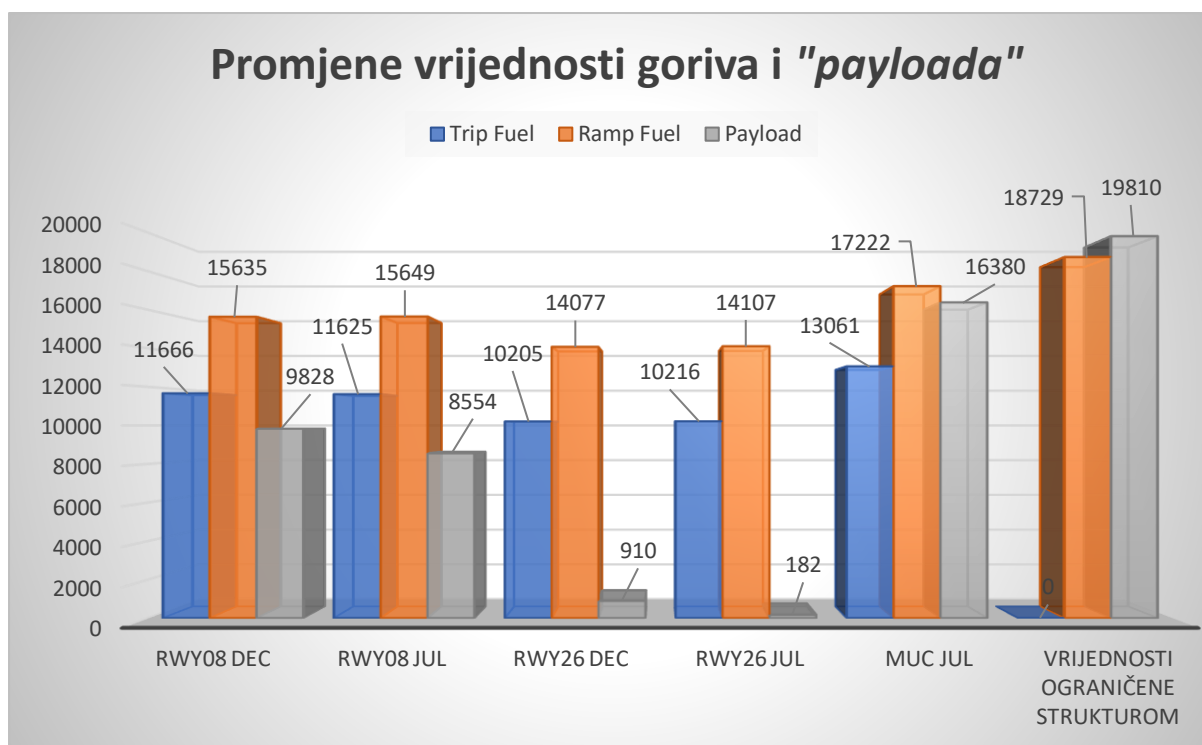
OFF		** STATION COPY **		PRP BY	
<b>FLIGHT INFO</b>			<b>CREW/SPRMRS O/B</b>		
FLTNO:			PIC: 1	F/O: 2	ACM: ACM:
DATE : 02.04.2024			SCM:3	CM2:4	CM3:5 CM4:6 CM5:7
REG :			CREW SELFBRIEFED FOR FLIGHT. CM6:		
ACFT : A320			PIC SIGN:		
TOF : Charter (76)			<b>TIME UTC</b>		
FROM : EDDM MUC MUNICH	1487	STD:18:00z		BLOCK OFF	: TAKE OFF
TO : OJAI AMM AMMAN/QUEEN ALI	2395	STA:22:33z		BLOCK ON	: LANDING
ERA :	0	<b>ALTERNATE</b>			
ALT1 : OJAJ AQJ AQABA/KING HUSS	175	A1:F: 1693	T: 0:33	DIST:178	FL:200 MT:197
ALT2 :	0	A2:F: 0	T: 0:00	DIST: 0	FL: 0 MT: 0
T/O A:	0	TO:F: 0	T: 0:00	DIST: 0	FL: 0 MC: 0
<b>FUEL PLAN</b>			<b>MASSES</b>		
	TIME	Kg	ESTIMATED (Kg )		
TAXI :	-	200	PAX :	180	
TRIP :	4:33	13061	ACT: _____	Kg	
ALTN OJAO :	0:33	1693	PAX WGHT:	13680	
CONT 5% :	0:14	653	BAG/CGO :	2700	
FINAL RES :	0:30	1115	PAYLOAD :	16380	
ADDITIONAL:	0:00	0	ZFM :	59615	ACT: _____ Kg
EXTRA :	0:00	0	TOM :	76637	ACT: _____ Kg
MIN RQD :	-	16722	LDM :	63576	
DISCRETION:	0:14	500	<b>MISC</b>		
RAMP :	6:04	17222	ACT: _____	Kg	
GAIN/LOSS : NOT AVAILABLE			FL :	SEE ICAO ATC	TTL DIST: 2007 NM
FUEL BURN ADJUSTMENT FOR 1000 KGS / 2205 LBS			PLN PROF:	M.78	GC DIST : 1482 NM
INCR/DECR IN TOM N/A Kg			AVG WD :	260/034	D TTL/GC: 1.35
			AVG WC :	1 KTS	TAIL FPL BSD ON 04011900
			AVG ISA :	-1	SRISE DEP/DEST:04:48/03:23
			TOC ISA :	0	SSET DEP/DEST:17:46/15:57
AVG DSCNT WND: FL300 247/035 FL240 264/051 FL180 241/037 FL100 241/037 FL050 241/037					
TAKE OFF DATA: V1   VR   V2   FLX   MARGIN   CONF.					
<b>ATC ROUTE</b> VAVOR Y106 MODSA DCT DETSA DCT PEVAL DCT NAKIT DCT PUL DCT SPL DCT VAKSU DCT KOFER DCT UNDER DCT PINDO DCT KUMBI/N0447F370 L612 BLT A16 CVO L315 HGD/N0447F380 R650 SHM/N0447F370 R650 NWB M690 ULINA M319 SESMO UM690 MUNRA					
<b>SHORT ICAO ATC FLIGHT PLAN:</b>					
(FPL- -IN					
-A320/M-SDEIFGHIJ1RWXY/LB1					
-EDDM1800					
-N0450F350 VAVOR Y106 MODSA DCT DETSA DCT PEVAL DCT NAKIT DCT PUL DCT SPL DCT VAKSU DCT KOFER DCT UNDER DCT PINDO DCT KUMBI/N0447F370 L612 BLT A16 CVO L315 HGD/N0447F380 R650 SHM/N0447F370 R650 NWB M690 ULINA M319 SESMO UM690 MUNRA					
-OJAI0433 OJAJ					
-PBN/A1B1C1D1L1O1S2 DOF/240402 REG/ EET/LOVV0008					
LIMM0016 LIMM0016 LOVV0016 LDZO0029 LYBA0109 LAAA0114					
LGGG0127 HECC0240 OJAC0407 SEL/DQJS CODE/501C1C RVR/075					
OPR/ /C RMK/EGYPT OVF PRMT 1A JORDAN LND PRMT 2B TCAS					
-E/0604 P/TBN R/VE J/L					
A/WHITE					
C/)					

Slika 33. Početna stranica OFF-a MUC - AMM

Kako bi usporedba letova s dvaju ishodišnih aerodroma bila potpuna, određeni će parametri izračunati u operativnom planu leta MUC – AMM biti prikazani u grafovima na slikama broj 34 i 35. Uspoređuju se parametri polaska iz Innsbrucka za najpovoljniji slučaj „RWY08 DEC“ s rezultatima polaska iz Munchena u srpnju (JUL), za koji je ranije izračunato kako je meteorološki najnepovoljniji mjesec. Podaci koji se uspoređuju su „Payload“ – „Trip fuel“ – „Ramp fuel“ te ZFM – TOM – LDM.



Slika 34. Graf 5 - Promjena dopuštenih masa polaska iz INN i MUC



Slika 35. Graf 6 - Promjene vrijednosti goriva i "payloada" polaska iz INN i MUC

Tablica 8. Usporedba izračunatih podataka INN / MUC

	INN (RWY 08 DEC)	MUC (JUL)	Maksimalna vrijednost
<b>PAX number</b>	108	180	180
<b>Payload [kg]</b>	9828	16380	19810
<b>ZFM [kg]</b>	53073	59615	62500
<b>TOM [kg]</b>	68508	76637	77000
<b>LDM [kg]</b>	56842	63576	66000
<b>Trip fuel [kg]</b>	11666	13061	/
<b>Ramp fuel [kg]</b>	15635	17222	18729



## 7. Izrada „*loadsheets*“

U završnoj fazi planiranja leta, pred sam let letaćka posada obavezna je izraditi „*loadsheet*“. „*Loadsheets*“ predstavlja vrlo važan dokument koji se izrađuje za svaki let zasebno, a pruža vrlo važne informacije vezane za raspodjelu i ukupne konačne mase putnika, tereta, i goriva kojima je zrakoplov opterećen. „*Loadsheets*“ se ne izrađuje s planiranim podacima kao što je to slučaj za operativni plan leta, već s konačnim podacima koje letaćka posada dobiva od strane kompanijskog agenta za prihvata i otpremu zrakoplova koji je time zadužen i za prihvata i otpremu putnika i tereta pa tako ima informaciju o konačnim vrijednostima i brojkama.

„*Loadsheets*“, kao fundamentalni dokument koji se s velikom pažnjom izrađuje za svaki let zasebno, s preciznošću definira raspodjelu i mase putnika, tereta, i goriva na zrakoplovu, a izračunava „*weight and balance*“ parametre, čuvajući zrakoplov od potencijalnih rizika povezanih s nepravilno odrađenim ukrcajem, ili prekoračenjem definiranih dopuštenih strukturalnih masa zrakoplova. Manifest putnika i manifest tereta izrađuju se u svrhe „*loadsheets*“, a sadrže spisak imena putnika, detalje o zauzetim sjedalima, i odgovarajućim masama, detaljni izvještaj o svom teretu ukrcanom na avion i o njegovoj preraspodjeli unutar odjeljenja. „*Loadsheets*“ također sadrži informacije o tipu i registraciji zrakoplova, datumu i aerodromima opsluživanja, broj operativne posade, putnika te njihove mase i raspodjelu, kao i masu i raspodjelu tereta, količinu goriva i strukturalne mase zrakoplova. Svi ti uneseni podaci u konačnici daju izračune pozicija centara težišta za svaku od strukturalnih masa. Posljednji izračunati podatak na „*loadsheetsu*“ u ovom slučaju je informacija o potrebnom 'trimu' stabilizatora koji je potrebno postaviti kako bi se postigla maksimalna efektivnost elevatora na zrakoplovu.

Za izradu „*loadsheets*“ korišten je Airbusov certificirani računalni program „*FlySmart +*“ koji je ranije u radu korišten i za potrebe izračuna performansi. Za vrijednosti potrebnih varijabli korišteni su podaci s planiranog leta LOWI/INN – OJAI/AMM „RWY08 DEC“ koji smo koristili i kao primjer kod prikaza operativnog plana leta u ranijem poglavlju. Uz podatke o gorivu i njegovoj gustoći za preciznu izradu „*loadsheets*“ unijeti su i podaci o broju i težini putnika i tereta te je odabrana njihova točna raspodjela unutar različitih sekcija kabine zrakoplova i njegovog teretnog prostora. Nakon unesenih vrijednosti program je napravio izračun i prikazao točnu poziciju centra težišta za svaku od strukturalnih masa zrakoplova. Slika broj 36 prikazuje parametre izračuna za izradu „*loadsheets*“ i raspodjelu goriva i masa putnika i prtljage, dok se grafički i tablični prikazi pozicije centara težišta (CG – „*Center of Gravity*“) prikazani slikom broj 37. Iz grafa je vidljivo kako se centar težišta u svakom slučaju nalazi unutar dozvoljenih granica, odnosno unutar granica envelope.



Slika 36. Prikaz konačne raspodjele tereta i goriva na zrakoplovu



Slika 37. Prikaz pozicije centra težišta grafički i tablicom

U konačnici, program generira i sami „*loadsheet*“ dokument koji sadrži sažetak svih unesenih i izračunom dobivenih podataka koji su ranije navedeni i prikazani. Prikaz konačnog „*loadsheet*“ dokumenta vidljiv je na slici broj 38.

<b>LOADSHEET</b>			
<b>ALL UNITS IN: KG</b>			
<b>AIRCRAFT DETAILS:</b>			
TYPE:	A320	REG:	
<b>FLIGHT DETAILS:</b>			
DATE:	09APR24	FLIGHT:	TEST
FROM:	LOWI	TO:	OJAI
<b>LOAD COMPONENTS DATA:</b>			
CREW:	3 / 4	Total:	555
PANTRY:	E (150/250)	Total:	400
PAX:	108	Total:	8208
Distr:	OA/36 OB/36 OC/36	Pax types:	AD/108 CH/0 INF/0
LOAD IN HOLDS:		Total:	1620
Distr:		CP1/405 CP3/405 CP4/405 CP5/405	
<b>FUEL INFO</b>			
TO FUEL:	15435	TAXI FUEL:	200
TRIP FUEL:	11666	DENSITY:	0.79
<b>MASSES AND CG</b>			
DOM:	<a href="#">43245</a>	DOMCG:	25.7
ZFM:	53073	ZFMCG:	30
TOM:	68508	TOMCG:	26.7
LM:	56842	LMCG:	30.1
<b>STABILISER TRIM</b>			
STAB TO:	0.4	NOSE:	UP
<b>SIGNATURES</b>			
PREPARED BY:	ABC	APPROVED BY:	XYZ

Slika 38. Izrađeni dokument - "*loadsheet*"

## 8. Zaključak

Postupak planiranja komercijalnog leta zrakoplova složen je proces kojim zrakoplovni dispečer i operativna letачka posada pomno istražuju, izračunavaju, i definiraju sve parametre koji su od važnosti za sigurnost, efikasnost, i pouzdanost izvođenja letачkih operacija. Planirani parametri leta ovise o brojnim čimbenicima: strukturalnim ograničenjima, ograničenjima uzletno-sletne staze i performansama zrakoplova, ograničenjima nepogodnih meteoroloških uvjeta, ograničenjima u vidu dostupnih zračnih prostora i ruta.

Izračunom performansi zrakoplova Airbus A320 i izradom operativnih planova leta sukladno, za odabrani aerodrom dobiveni su iznenađujuće ograničavajući rezultati, neki od kojih kada bi se ostvarili uvelike bi naštetili profitabilnosti leta. S obzirom da jedna uzletno-sletna staza aerodroma koji je u ovome radu bio predmet analiziranja, u nekim uvjetima može dozvoljavati 108 putnika, dok drugi smjer iste staze tu brojku ograničava na samo 10, takav bi se let mogao planirati s prijevozom 108 putnika, ali u konačnici postoji određeni rizik od promjene smjera aktivne uzletno-sletne staze na onu manje povoljnu, a do čega može doći već jednostavnom promjenom smjera i/ili jačine trenutnog vjetera. Također, jasno je prikazan i raspon mogućih razlika u performansama kod letenja u različita doba godine. Aerodrom polaska iz ovog rada samo je jedan od mnogih aerodroma koji predstavljaju potencijalan rizik za operiranje u vidu maksimalne iskoristivosti potencijala i mogućnosti zrakoplova.

S obzirom na situaciju s iznimnim ograničenjima najveće dopuštene mase za uzlijetanje, poželjno je sagledati i razmotriti cijelu problematiku u potrazi za mogućim rješenjem. Najbolje i najefikasnije rješenje svakako bi bilo planirati let s uzlijetanjem s drugog obližnjeg aerodroma, a koji je povoljniji po pitanju iskorištavanja maksimalnih mogućnosti koje zrakoplov dozvoljava, naravno ukoliko je takvo nešto moguće, a što je bio slučaj ovdje. Sukladno tome u radu je prikazana i takva usporedba.

Za kvalitetno planiranje leta potrebno je široko znanje i razumijevanje svake od relevantnih materija te određena definirana procedura u svrhu detaljnog i temeljitog izvršavanja procesa planiranja leta. Procedura koja uključuje doprinose niza ljudi potrebnih da se proces planiranja uspješno izvede, a započinje s provjerom adekvatnosti aerodroma operiranja te konačno završava izradom „loadsheeta“ s aktualnim, stvarnim podacima stanja na zrakoplovu prije uzlijetanja.

## Popis literature

- [1] B. N. Pamadi, *Performance, Stability, Dynamics, and Control of Airplanes*, Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2004..
- [2] »ResearchGate,« [Mrežno]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/The-five-stresses-that-may-act-on-an-aircraft-and-its-parts\\_fig8\\_287196205](https://www.researchgate.net/figure/The-five-stresses-that-may-act-on-an-aircraft-and-its-parts_fig8_287196205). [Pokušaj pristupa Veljača 2024.].
- [3] »EaglePubs,« [Mrežno]. Available: <https://eaglepubs.erau.edu/introductiontoaerospaceflightvehicles/chapter/wing-shapes-and-nomenclature/>. [Pokušaj pristupa Veljača 2014.].
- [4] »Skybrary,« [Mrežno]. Available: <https://skybrary.aero/articles/fuel-flight-planning-definitions>. [Pokušaj pristupa Veljača 2024.].
- [5] Airbus S.A.S. , *Airbus A320 Weight and Balance Manual*, Blagnac, France: Airbus S.A.S., 1988..
- [6] »BristolGroundschool,« [Mrežno]. Available: <https://www.bristol.gs/wp-content/uploads/2021/10/Training-Video-Thumbnail-MB-Aircraft-Mass.jpg>. [Pokušaj pristupa Veljača 2024.].
- [7] »Quora,« [Mrežno]. Available: <https://www.quora.com/Does-the-horizontal-stabilizer-in-an-aircraft-generate-lift>. [Pokušaj pristupa Veljača 2024.].
- [8] R. Machado, *Rod Machado's Private Pilot Handbook*, San Clemente: The Aviation Speakers Bureau, 1996..
- [9] P. F. Lester, *Aviation Weather 2nd Edition*, Englewood, Colorado: Jeppesen Sanderson, Inc., 2000..
- [10] »Quora,« [Mrežno]. Available: <https://www.quora.com/Are-hailstorms-dangerous-for-flying-an-aircraft>. [Pokušaj pristupa Ožujak 2024.].
- [11] I. N. Gleim, *Aviation Weather & Weather Services*, Gainesville, Florida: Gleim Publications, Inc., 2003..
- [12] M. Chaput, »LinkedIn,« [Mrežno]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/when-frost-michael-chaput>. [Pokušaj pristupa Veljača 2024.].
- [13] »VouheadWeather,« [Mrežno]. Available: <https://www.weather.vouhead.gr/wxforecast-sager.php?lang=en>. [Pokušaj pristupa Veljača 2024.].
- [14] T. P. Turner, *Weather Patterns and Phenomena - A Pilot's Guide*, New York City, NY: The McGraw-Hill Companies, Inc., 1999..
- [15] K. Cutler, »Wikipedia,« 18. Siječanj 2023.. [Mrežno]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Supercell#/media/File:Supercell\\_hail\\_core\\_near\\_Stratford,\\_Texas\\_on\\_May\\_18,\\_2023.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Supercell#/media/File:Supercell_hail_core_near_Stratford,_Texas_on_May_18,_2023.jpg). [Pokušaj pristupa Veljača 2024.].

- [16] R. Rienhart, »LinkedIn Corporation,« [Mrežno]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/introduction-flight-planning-concepts-use-selection-ryan-rienhart>. [Pokušaj pristupa Veljača 2024.].
- [17] B. Bachtel, »The Boeing Company,« 22. Listopad 2003.. [Mrežno]. Available: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.boeing.com/content/dam/boeing/boeingdotcom/commercial/airports/faqs/etopseropsenroutealt.pdf>. [Pokušaj pristupa Veljača 2024.].
- [18] J. L. Castro, »LinkedIn Corporation,« Ožujak 2024.. [Mrežno]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/aircraft-classification-number-pavement-number-acn-pcn-castro-6ilrf>. [Pokušaj pristupa Ožujak 2024.].
- [19] S. Pavlin, *Aerodromi I*, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2006..
- [20] Jeppesen Sanderson Inc., *Charts and Airway Manual*, Inverness, Colorado: Jeppesen Sanderson Inc., 2024..

## Popis kratica

AFTN	Aeronautical Fixed Telecommunication Network
APU	Auxilliary Power Unit
ICAO	International Civil Aviation Organization
ERA	En-Route Alternate
ISA	International Standard Atmosphere
MEL	Minimum Equipment List
ELR	Enviromental Lapse Rate
DALR	Dry Adiabatic Lapse Rate
SALR	Saturated Adiabatic Lapse Rate
CAT	Clear Air Turbulence
SWC	Significant Weather Chart
SWH	Significant Weather High
SWM	Significant Weather Medium
SWL	Significant Weather Low
UTC	Universal Time Coordinated
TAF	Terminal Aerodrome Forecast
FIR	Flight Information Region
IATA	International Air Transport Assosiation
AOE	Airport of Entry
PCN	Pavement Classification Number
ACN	Aircraft Classification Number
ARFF	Airport Rescue and Fire Fighting
OS	Operation Specification
OFP	Operational FLight Plan
IFR	Instrument FLight Rules)
USS	Uzletno-sletna staza
AIP	Aeronautical Information Publication

TORA	Take-Off Run Available
TODA	Take-Off Distance Available
ASDA	Accelerate-Stop Distance Available
TAS	True Airspeed
OAT	Outside Air Temperature
TOGA	Take-Off / Go Around
LDA	Landing Distance Available
ALD	Actual Landing Distance
RWY	Runway
RNAV	Area Navigation
ATC	Air Traffic Control
DEC	December
JUL	July
GMORA	Grid Minimum Off-Route Altitude
MEA	Minimum En-Route Altitude
FMS	Flight Management System
ZFM	Zero Fuel Mass
TOM	Take-Off Mass
LDM	Landing Mass
MTOM	Maximum Take-Off Mass



## Popis slika

Slika 1. Vrste sila koje djeluju na strukturu zrakoplova (adaptirao autor) [2].....	3
Slika 2. Raspored sila i momenata uzduž lateralne osi (adaptirao autor) [3].....	4
Slika 3. Vizualni prikaz različitih pojmova masa zrakoplova (adaptirao autor) [6].....	7
Slika 4. Pozicija centra težišta nas longitudinalnoj osi (adaptirao autor) [7].....	9
Slika 5. Šteta nastala djelovanjem tuče [10].....	13
Slika 7. Prozirni led (" <i>Clear ice</i> ").....	15
Slika 6. Igličasti led (" <i>Rime ice</i> ").....	15
Slika 8. Inje (" <i>Frost</i> ") [12].....	16
Slika 9. Prikaz Buys Ballotovog zakona (adaptirao autor) [13].....	17
Slika 10. Olujne linije (" <i>Squall lines</i> ").....	18
Slika 11. Superstanični kumulonimbus (" <i>Super-cell</i> ") [15].....	19
Slika 12. Prikazi METAR izvješća i TAF prognoza.....	22
Slika 13. Graf 1 - Prikaz najvećih dopuštenih masa za uzlijetanje - INN RWY 08.....	36
Slika 14. Graf 2 - Prikaz najvećih dopuštenih masa za uzlijetanje - INN RWY 26.....	37
Slika 15. Izračun performansi uzlijetanja - INN RWY08 DEC.....	38
Slika 16. Izračun performansi uzlijetanja - INN RWY26 DEC.....	39
Slika 17. Innsbruck RNAV Departure - MOGTI 1R [20].....	40
Slika 18. Jeppesen 19-03: Innsbruck Airport RWY 08 [20].....	41
Slika 19. Jeppesen 19-04: Innsbruck Airport RWY 26 [20].....	42
Slika 20. Izračun performansi na slijetanju - INN RWY 08 JUL.....	44
Slika 21. Izračun performansi na slijetanju - INN RWY 26 JUL.....	45
Slika 22. Izračun performansi na slijetanju s 5 kt leđnog vjetra - INN RWY08 JUL.....	47
Slika 23. Izračun performansi na slijetanju bez uporabe obrnutog potiska - INN RWY08 JUL.....	48
Slika 24. Jeppesen 20-9: AMM Taxi Chart [20].....	49
Slika 25. Prikaz planirane rute INN - AMM.....	52
Slika 26. Početna stranica OFP-a leta INN - AMM (RWY08 DEC).....	53
Slika 27. Drugi segment OFP-a leta INN - AMM (RWY08 DEC).....	55
Slika 28. Treći segment OFP-a leta INN - AMM (RWY08 DEC).....	56
Slika 29. Odabrana ruta za let AMM - INN.....	59
Slika 30. Graf 2 - Promjene vrijednosti vjetra kroz godinu na relaciji INN – AMM – INN.....	59
Slika 31. Graf 3 - Promjena dopuštenih masa za različite USS-e i amplitudne mjesece.....	61
Slika 32. Graf 4 - Promjene vrijednosti goriva i " <i>payloada</i> " za različite USS-e i amplitudne mjesece.....	61
Slika 33. Početna stranica OFP-a MUC - AMM.....	63
Slika 34. Graf 5 - Promjena dopuštenih masa polaska iz INN i MUC.....	64
Slika 35. Graf 6 - Promjene vrijednosti goriva i " <i>payloada</i> " polaska iz INN i MUC.....	65
Slika 36. Prikaz konačne raspodjele tereta i goriva na zrakoplovu.....	67
Slika 37. Prikaz pozicije centra težišta grafički i tablicom.....	67
Slika 38. Izrađeni dokument - " <i>loadsheets</i> ".....	68

## Popis tablica

Tablica 1. Innsbruck Airport - " <i>Checklist</i> " .....	24
Tablica 2. Queen Alia International Airport - "Checklist" .....	25
Tablica 3. Odabrani alternativni aerodromi.....	27
Tablica 4. Tablica izračuna performansi .....	35
Tablica 5. Vrijednosti vjetra na ruti INN - AMM .....	57
Tablica 6. Vrijednosti vjetra na ruti AMM - INN .....	58
Tablica 7. Izračuni parametara leta za oba pravca USS-e za dva amplitudna mjeseca .....	60
Tablica 8. Usporedba izračunatih podataka INN / MUC .....	65

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je \_\_\_\_\_ diplomski rad  
(vrsta rada)

isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Proces planiranja komercijalnog leta zrakoplova, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 01.05.2024.

Student/ica:

Andrej Pakšec,  
(ime i prezime, potpis)