

# Određivanje performansi uzlijetanja i slijetanja s kontaminirane uzletno-sletne staze

---

**Delić, Josip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:543278>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-11**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

### **ODREĐIVANJE PERFORMANSI UZLIJETANJA I SLIJETANJA S KONTAMINIRANE UZLETNO-SLETNE STAZE**

### **TAKE OFF AND LANDING PERFORMANCE DETERMINATION CONSIDERING CONTAMINATED RUNWAY**

Mentor: Mr. sc. Davor Franjković

Student: Josip Delić  
JMBAG: 0135258017

Zagreb, 2022.

Zagreb, 11. svibnja 2022.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**  
Predmet: **Zrakoplovna prijevozna sredstva**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 6814

Pristupnik: **Josip Delić (0135258017)**  
Studij: **Aeronautika**  
Smjer: **Kontrola leta**

Zadatak: **Određivanje performansi uzlijetanja i slijetanja s kontaminirane uzletno-sletne staze**

### Opis zadatka:

Objasniti ukratko uzlijetanje i slijetanje zrakoplova, potrebne i raspoložive duljine, utjecajne čimbenike i zahtjeve regulative za uzlijetanje i slijetanje.

Objasniti kontaminaciju uzletno-sletne staze, navesti vrste kontaminacije i njihov učinak na potrebne duljine za uzlijetanje/slijetanje ili dopuštenu masu aviona pri uzlijetanju/slijetanju.

Prema podacima iz letnih priručnika nekoliko zrakoplova odrediti i usporediti potrebe duljine za uzlijetanje/slijetanje za različite uvjete stanja površine uzletno-sletne staze.

Izvesti zaključke.

Mentor:

  
\_\_\_\_\_  
mr. sc. Davor Franjković, v. pred.

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

\_\_\_\_\_

## SAŽETAK

Uzlijetanje i slijetanje dvije su kritične faze operacija zrakoplova i zaslužuju mnogo brige oko postupanja u istima. Zato se vodi računa o svakom segmentu, a jedan od bitnijih je uzletno-sletna staza i njena površina. Sama površina može stvoriti promijenjene uvjete i nelagodu kako performansama zrakoplova tako i putnicima i pilotu zbog svojih svojstava. Zbog toga su doneseni razni propisi. Cilj propisanih zahtjeva je da u datim uvjetima uz pomoć dostupnih izračuna to jest izračuna potrebnih udaljenosti za pojedine radnje odredi je li sigurno poletjeti ili sletjeti na takvoj podlozi. Kako nemaju svi meteorološki produkti ista svojstva tako ni iste podloge nemaju ista svojstva što može činiti razliku u potrebnim udaljenostima za istu vrstu zrakoplova na različitim podlogama, odnosno u uvjetima travnate i asfaltirane površine uzletno-sletne staze.

**KLJUČNE RIJEČI:** uzlijetanje, slijetanje, površina uzletno-sletne staze, suha podloga, mokra podloga, onečišćena podloga, dostupne udaljenosti, potrebne udaljenosti, Cessna 172N, Airbus A320

## SUMMARY

Taking off and landing are two critical phases of aircraft operations and they deserve more care about themselves. That is why more things are taken into account and one of the most important ones is runway and its surface. Runway surface can make a flight unpleasant to pilot, passengers and change some performances of aircraft. That is the one of reasons why many of regulations are there. Purpose of regulations is that in given conditions with help of known distances, pilot makes a calculation about aircraft`s required distances and decides wheter it is safe or not to take off or land on that runway. Just like all meteorological products have different performances so do the runways surfaces, what can lead to difference in required distances for the same type of aircraft on two different surfaces, such as grass and paved ones.

**KEYWORDS:** taking off, landing, runway surface, dry surface, wet surface, contaminated surface, available distances, required distances, Cessna 172N, Airbus A320

# Sadržaj

<u>1. UVOD</u> .....	5
<u>2. OPĆENITO O UZLIJETANJU I SLIJETANJU</u> .....	6
<u>2.1. Uzlijetanje</u> .....	6
<u>2.2. Slijetanje</u> .....	8
<u>3. POVRŠINA UZLETNO-SLETNE STAZE</u> .....	9
<u>3.1. Vrste podloge</u> .....	9
<u>3.2. Kontaminirana uzletno-sletna staza</u> .....	9
<u>3.3. Vrste kontaminacije</u> .....	10
<u>3.3.1. Mraz</u> .....	10
<u>3.3.2. Stajaća voda</u> .....	10
<u>3.3.3. Bljuzgavica</u> .....	10
<u>3.3.4. Mokri snijeg</u> .....	10
<u>3.3.5. Suhi snijeg</u> .....	11
<u>3.3.6. Zbijeni snijeg</u> .....	11
<u>3.3.7. Led</u> .....	11
<u>4. ZAHTJEVI REGULATIVE</u> .....	12
<u>4.1. Klasa performansi A</u> .....	12
<u>4.1.1. uzlijetanje zrakoplova klase performansi A</u> .....	13
<u>4.1.2. slijetanje zrakoplova klase performansi A</u> .....	20
<u>4.2. Klasa performansi B</u> .....	21
<u>4.2.1. Uzlijetanje zrakoplova klase B performansi</u> .....	21
<u>4.2.2. Slijetanje zrakoplova klase B performansi</u> .....	22
<u>4.3. Klasa performansi C</u> .....	23
<u>4.3.1. Uzlijetanje zrakoplova klase performansi C</u> .....	23
<u>4.3.2. Slijetanje zrakoplova klase performansi C</u> .....	24
<u>5. UZLIJETANJE I SLIJETANJE CESSNE SKYHAWK 172N I CESSNE SKYHAWK 172R</u> .....	25
<u>5.1. Izračun potrebne udaljenosti za uzlijetanje zrakoplova Cessna Skyhawk 172N</u> .....	25
<u>5.2. Izračun potrebne duljine za slijetanje Cessne Skyhawk 172N</u> .....	26
<u>6. UZLIJETANJE I SLIJETANJE ZRAKOPLOVA AIRBUS A320</u> .....	29
<u>6.1. Uzlijetanje zrakoplova Airbus A320</u> .....	29
<u>6.1.1. Uzlijetanje s mokre uzletno-sletne staze A320</u> .....	30
<u>6.1.2. Uzlijetanje sa staze kontaminirane sa 12.7 mm (1/2 inch) bljuzgavice A320</u> .....	32
<u>6.1.2. Uzlijetanje za staze onečišćene zbijenim snijegom A320</u> .....	34
<u>6.2. Slijetanje zrakoplova Airbus A320</u> .....	36
<u>7 ZAKLJUČAK</u> .....	39
<u>LITERATURA</u> .....	40

## 1. UVOD

Svaki zrakoplov prolazi kroz različite vrste kretnji na svojoj putanji od mjesta uzlijetanja pa do mjesta slijetanja. Regulativom je zbrinuto da kroz sve faze zrakoplov bude osiguran od bilo kakvih opasnosti. Svaka faza leta je kritična za sebe do nekih razina, ali se neke faze ističu više od ostalih. Tako se pojedine faze nazivaju kritične faze leta. U izradi rada upotrijebljeni su podaci o kritičnim fazama leta i regulativama usko povezanim s njima iz europske odredbe 965/2012. uočeno je tijekom povijesti da se najviše problema odnosno nesreća i incidenata događalo u takozvanim kritičnim fazama, a to su faze uzlijetanja, uzlazne putanje zrakoplove, završno prilaženje, neuspjelo prilaženje i slijetanje. Iz navedenog se da naslutiti da su sve operacije vezane uz uzlijetanje i slijetanje kritične te da se njima treba predati više pažnje. Ovaj završni rad izlaže propise vezane uz faze uzlijetanja i slijetanja zrakoplova odnosno preciznije izlaže zahtjeve regulativa za faze uzlijetanja u uvjetima suhe, mokre i onečišćene uzletno-sletne staze. Rad je raspodijeljen na 6 poglavlja. Nakon prvog uvodnog poglavlja slijede drugo i treće poglavlje koje govore općenite podatke o uzlijetanju i slijetanju kao i kontaminaciji i vrsti onečišćivača uzletno-sletne staze. Nakon što se završi opisivanje općenitih podataka tematike rada, dolazi četvrto poglavlje u kojem su raspisane sve propisane regulative vezane uz vrste uzletno-sletne staze i stanja površine istih. Peto i šesto poglavlje donose konkretan primjer iz operativnog priručnika za zrakoplove Cessna 172N i Airbus A320. Nakon prikazivanja performansi navedenih zrakoplova u datim uvjetima slijedi poglavlje zaključka tematike i završnog rada.

## 2. OPĆENITO O UZLIJETANJU I SLIJETANJU

Prije samog ulaska u opisivanje teme tekućeg ulomka odnosno uzlijetanja i slijetanja, bitno je kratko i sažeto objasniti različite faze kretanja zrakoplova. Svaka faza nosi svoju težinu, ali neke su faze ipak kritičnije od drugih i zbog toga su podložne strožim zahtjevima. Faze leta su definirane regulativama i dijele se na uzlijetanje (eng. *take off*), penjanje (eng. *climb*), krstarenje (eng. *cruise*), spuštanje i prilaz (eng. *descent and approach*) te slijetanje (eng. *landing*). Spomenute faze su opisane i u operativnim priručnicima zrakoplova kako bi se mogle izračunati pojedine potrebne performanse zrakoplova u različitim segmentima leta, čime se potvrđuje razina sigurnosti za određenu fazu leta [1].

Penjanje, što se smatra drugom fazom leta, izvodi se nakon uzlijetanja. Prilikom penjanja konstantnom brzinom mora doći do izjednačavanja sila koje djeluju na zrakoplov. Sila potiska mora biti u ravnoteži sa silom otpora na koju se nadodaje još i komponenta težine zrakoplova. Uslijed sastavljanja regulative, kod penjanja se umjesto kuta penjanja promatra gradijent penjanja (odnos visine i prijeđene horizontalne udaljenosti, izražen u postotku) [1].

Krstarenje odnosno rutno penjanje, održavanje visine i spuštanje predstavlja treći odnosno četvrti segment leta zrakoplova. Kod navedenih faza leta regulativa zahtjeva osiguranje podataka za fazu leta u uvjetima svih operativnih motora i u slučaju otkaza motora [1].

Preostale dvije faze, uzlijetanje i slijetanje, smatraju se kritičnim fazama leta i bit će pobliže objašnjenje u narednom tekstu [2].

### 2.1. Uzlijetanje

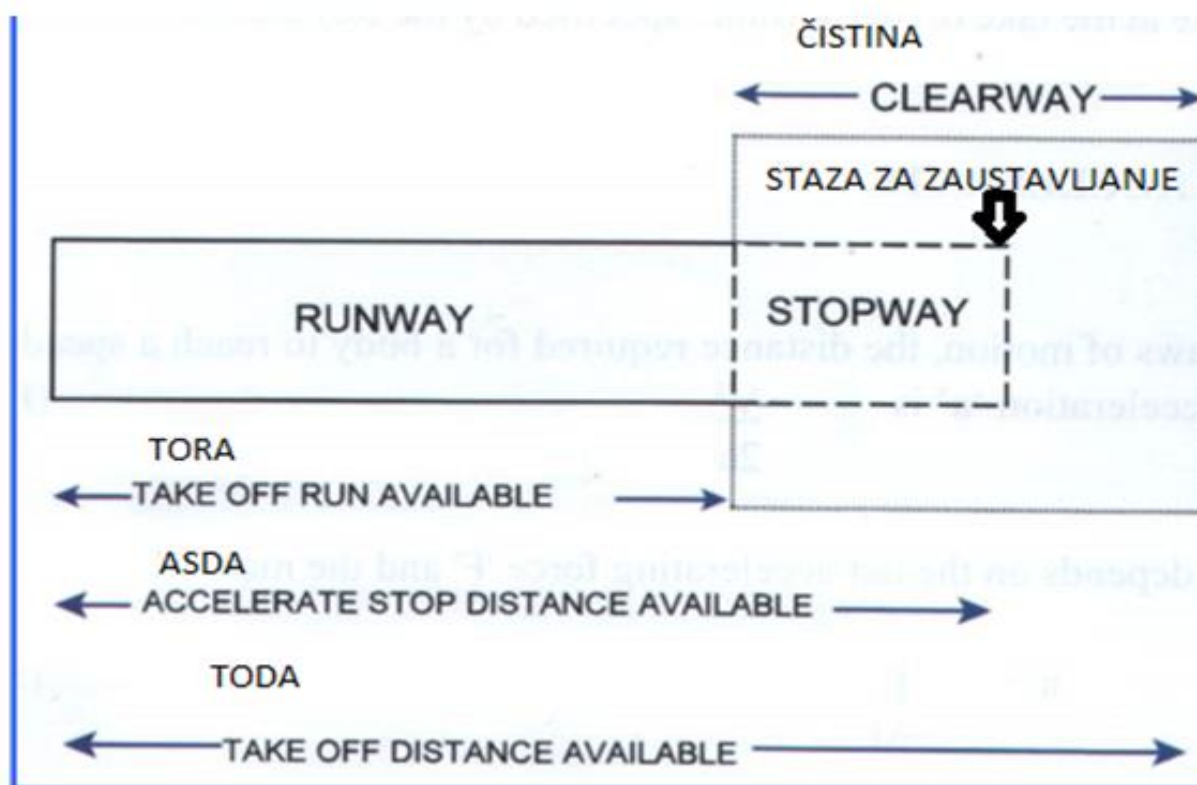
Uzlijetanje je faza leta zrakoplova odnosno udaljenost od trenutka puštanja kočnica pa sve do trenutka odnosno točke na kojoj zrakoplov doseže definiranu visinu (takozvanu „screen“ visinu). Za svako uzlijetanje mora se dokazati i pokazati da udaljenost potrebna za uzlijetanje u prevladavajućim uvjetima ne prelazi raspoložive udaljenosti na aerodromu polijetanja [1].

Dostupne to jest raspoložive udaljenosti pri uzlijetanju su one koje se nalaze na datom aerodromu i dijele se na [1]:

- A. Raspoloživu udaljenost za zalet (duljina uzletno-sletne staze za normalne operacije zrakoplova, eng. TORA – *take off run available*)
- B. Raspoloživu udaljenost za uzlijetanje (duljina uzletno-sletne staze povećana za duljinu čistine. (Čistina reprezentira zamišljenu površinu nakon uzletno-sletne staze i ima svoju propisanu vrijednost širine za čistinu od prepreka. Svrha čistine je sigurnost od prepreka nakon napuštanja uzletno-sletne staze odnosno sigurno penjanje do zadane visine [2].) Eng. TODA – *take off distance available*)

- C. Raspoloživu udaljenost za ubrzanje i zaustavljanje (duljina uzletno-sletne staze povećana za duljinu staze za zaustavljanje. Bit zaustavne staze je da omogući zrakoplovu da se sigurno zaustavi u slučaju prekida polijetanja, no iako može podnijeti težinu zrakoplova bez da dođe do strukturnih oštećenja, staza za zaustavljanje nije namijenjena normalnim operacijama zrakoplova.

Na slici 1. mogu se vidjeti dostupne udaljenosti.



Slika 1. Dostupne udaljenosti na aerodromu, [1]

Potrebne udaljenosti u fazi uzlijetanja se promatraju u dva segmenta [1]:

- Zatrčavanje na tlu
- I udaljenost prijeđena u zraku do trenutka postizanja definirane visine

Tijekom uzlijetanja različiti faktori utječu na potrebnu udaljenost za uzlijetanje zrakoplova. Promjene potrebne dužine uvjetovani su različitim varijablama. Te varijable su [1]:

- Masa zrakoplova
- Gustoća zraka
- Vjetar
- Nagib uzletno-sletne staze
- Površina uzletno-sletne staze
- Kontaminacija konstrukcije
- Postavke zakrilaca



U ovisnosti o klasifikaciji zrakoplova postoje različite potrebe za uzimanjem u obzir raznih čimbenika koji će za posljedicu imat promjenu dužine potrebne uzletno-staze [2].

## 2.2. Slijetanje

Slijetanje predstavlja zadnju fazu leta zrakoplova te se kao i kod uzlijetanja mora voditi briga o dostupnim duljinama za slijetanje i potrebnim duljinama za slijetanje. Dostupna duljina za slijetanje određena je samom uzletno-sletnom stazom na aerodromu odnosno duljinom staze, dok je potrebna duljina za slijetanje podijeljena u dva segmenta i varirati će u ovisnosti o pojedinim faktorima [1].

Dva segmenta potrebne duljine za slijetanje su [1]:

- Udaljenost od točke na definiranoj visini do točke dodira s podlogom staze i
- Udaljenosti od trenutka dodira pa do potpunog zaustavljanja zrakoplova.

Čimbenici koji će mijenjati potrebnu duljinu za slijetanje su [1]:

- a) Masa zrakoplova,
- b) Gustoća zraka,
- c) Vjetar,
- d) Nagib staze i
- e) Površina staze.

### 3. POVRŠINA UZLETNO-SLETNE STAZE

Među više faktora koji utječu na promjene potrebne duljine za bilo uzlijetanje ili slijetanje, ovaj rad će se fokusirati na površinu uzletno-sletne staze. Za zrakoplove prilikom slijetanja i polijetanja jako bitnu ulogu ima vrsta površine staze na kojoj će izvoditi operacije. Kretanje na drukčijim površinama staze imat će za posljedicu i drukčije potrebne duljine. Tako zrakoplovi mogu slijetati na tvrdu betonsku površinu ili na travnatu površinu. Zbog važnosti ove dvije faze leta, zadužene organizacije su izdale regulative za izračune potrebnih duljina. Kako se duljine mijenjaju u ovisnosti o različitim površinama, tako se i mijenjaju u drukčijim vremenskim uvjetima. Svaka vrsta zrakoplova ima vlastite specifikacije i zbog toga proizvođači aviona za svoje proizvode raspisuju potrebne izračune za različite uvjete za njihove zrakoplove. Međutim, ne donose različite vremenske prognoze i iste probleme. Usljed toga postoji podjela na više kontaminiranih podloga koji se mogu pronaći na površini staze prilikom obavljanja operacija [3].

#### 3.1. Vrste podloge

Vrsta podloge će na davati na značaju zbog različitih svojstava koje imaju postojeće podloge. Razlikuju se asfaltirana uzletno-sletna staza i travnata staza. Zbog fizičkih svojstava svaka staza ima svoje vrijednosti prilikom korištenja istih [1].

#### 3.2. Kontaminirana uzletno-sletna staza

Kontaminirana ili onečišćena uzletno sletna staza predstavlja stazu koja unutar svojih dostupnih duljina i širina koje koristi ima više od 25% uzletno-sletne površine prekrivenost jednim od sljedećih onečišćivača [2]:

- a. Površinska voda s dubinom većom od 3 milimetra ili drugom vrstom onečišćivača poput bljuzgavice ili mekog snijega, koja će odgovarati vrijednosti većoj od 3 milimetra vode
- b. Snijegom koji je stisnutu čvrstu masu i ne podliježe daljnjem stiskanju te nakon podizanja se ili raspada u komadiće ili ostaje u komadu
- c. Vodom, uključujući i mokri led.

Međutim, za potrebe razumijevanja daljnjeg rada potrebno je navesti i objasniti ostale nazive za stanja uzletno-sletne staze. Među njima se nalaze suha, mokra i vlažna uzletno-sletna staza [2].

Mokra uzletno-sletna staza predstavlja stazu koja ima prekrivenu površinu vodom ili nekim drugim tipom onečišćivača koji će biti navedeni u primjerima onečišćivača u slijedećem podnaslovu ili ona staza koja ima dovoljno vlage na površini da daje reflektirajući odsjaj, ali uz uvjet da nema većih dijelova na kojima se zadržava stajaća voda [2].

Vlažna uzletno-sletna staza se smatra staza čija površina nije suha, ali zbog vlage na površini nema sjajni izgled. Za potrebe razmatranja performansi, vlažna uzletno-sletna staza se može smatrati suhom stazom, osim ako je u pitanju travnata uzletno-sletna staza [2].

Suha uzletno-sletna staza označuje naziv za stazu koja ne spada pod kontaminirane ili mokre i uključuje sve pripadajuće uzletno-sletne staze koje su izrađene za žljebovima ili dodatnim pomagalicama koji služe za održavanje staze suhom to jest da zadrže djelotvorno suhi učinak kočenja iako je prisutna vlaga na stazi [2].

### 3.3. Vrste kontaminacije

Pod onečišćivače staze spadaju različiti produkti vremenskih pojava i prirodnih procesa. Tako se razlikuje nekolicina koja ima utjecaj na performanse pri uzlijetanju i slijetanju [3].

#### 3.3.1. Mraz

Kristalići nastali iz vlage u zraku na površini čija je temperatura ispod temperature smrzavanja (temperatura jednaka ili manja od one gdje nastupa smrzavanje vode, 0°C). Mraz se razlikuje od leda po tome što kristali mraza (inja) rastu neovisno i stoga imaju zrnatiju teksturu od kristalića leda [3].

#### 3.3.2. Stajaća voda

Voda koja prekriva površinu dubinom od minimalno 3 milimetra [3].

#### 3.3.3. Bljuzgavica

Snijeg koji je toliko zasićen vodom da će voda iscuriti iz njega ukoliko se podigne rukom ili će poprskati ako se na njega zgazi [3].

#### 3.3.4. Mokri snijeg

Snijeg koji sadrži toliko vode da se od njega može napraviti kompaktna tvrda gruda bez da voda curi iz istog [3]

### 3.3.5. Suhi snijeg

Snijeg koji se i nakon pokušaja skupljanja u kompaktnu jedinicu, ne održava na skupu već se raspada [3].

### 3.3.6. Zbijeni snijeg

Snijeg koji se pretvorio u tvrdnu masu takvu da će kotači zrakoplova, pri operativnim brzinama i utovarom, kretati se po površini staze bez ikakvog značajnijeg daljnjeg zbijanja ili ostavljanja tragova na površini [3].

### 3.3.7. Led

Voda ili zbijeni snijeg koji se pri hladnim i suhim uvjetima pretvara u led i koeficijent trenja je 0.05 ili manji. [3].

## 4. ZAHTJEVI REGULATIVE

Ovisno o tome kojoj klasi pripada zrakoplov, regulative za pojedine uvjete će se razlikovati. Klase su definirane pojedinim parametrima i vrijednostima [2]. Na slici 2. je prikazana podjela zrakoplova prema klasama po propisanim parametrima [1].

	više motorni mlazni zrakoplovi	pogonjeni proplerom	
		više motorni turbo elisni	klipni
Masa: > 5700 kg or Putničkih mjesta: > 9	A	A	C
Masa : ≤ 5700 kg and Putničkih mjesta: ≤ 9	A	B	B

Slika 2. Prikaz podjele zrakoplova prema klasama,[1]

### 4.1. Klasa performansi A

Zrakoplovi klase performanse A označavaju više-motorne zrakoplove koji su pokretani turbo-elisnim motorima i brojem putničkih sjedala većim od devet ili najvećom masom pri uzlijetanju većom od 5700 kg i svi više motorni zrakoplovi pokretani turbomlaznim motorima [2]. Prilikom raspravljanja o performansama za navedenu klasu uzimaju se odobreni podaci iz AFM-a i po potrebi se nadopunjuju drugim podacima ukoliko su podaci iz AFM-a nedovoljni u pogledu na [2]:

1. Uzimanje u obzir samo podataka za razumno očekivano nepovoljne operativne uvjete kao što su polijetanje i slijetanje sa onečišćene staze i
2. Uzimanje u obzir kvar motora u svim fazama leta.

Ukoliko se dogodi da je staza onečišćena i mokra, koriste se podaci o performansama određenima u skladu sa standardima za certificiranje velikih zrakoplova ili odgovarajućim zahtjevima. Navedeni dodatni podaci za nadopunjavanje i odgovarajući zahtjevi navode se u operativnom priručniku [2].

Prilikom određivanja najveće dopuštene mase pri polijetanju moraju biti ispunjena sljedeća četiri uvjeta [2]:

1. Potrebna brzina za ubrzavanje zaustavljanje ne smije prijeći dostupnu udaljenost za ubrzavanje i zaustavljanje
2. Potrebna duljina za polijetanje ne prelazi dostupnu duljinu za polijetanje uz uvjet da duljina čistine ne prelazi duljinu polovice dostupne duljine za zalet
3. Potrebna duljina za zalet ne smije premašiti dostupnu duljinu za zalet
4. Za neprekidno i prekinuto polijetanje uzima se pojedinačna vrijednost  $V_1$  brzine
5. Na onečišćenoj ili mokroj stazi, masa mora biti manje ili jednaka onoj koja je dozvoljena za polijetanje na suhoj stazi u istim uvjetima.

Naravno za dokazivanje navedenih uvjeta mora se voditi briga i o vrsti i stanju površine uzletno-sletne staze [2].

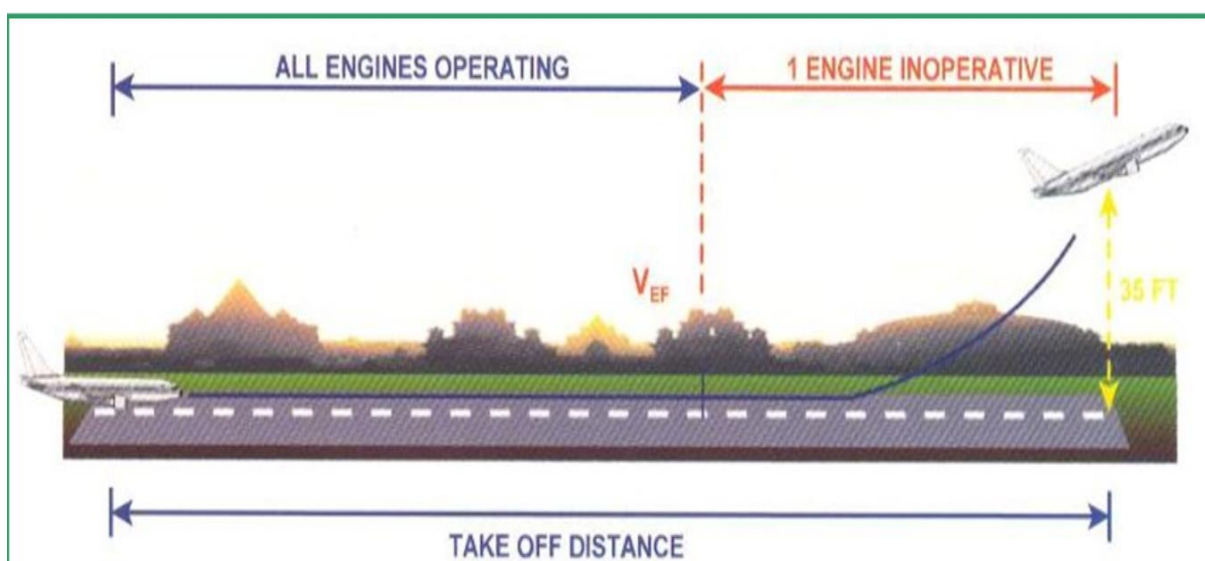
#### 4.1.1. uzlijetanje zrakoplova klase performansi A

Prilikom uzlijetanja dvije vrste potrebnih duljina se razlikuju u ovisnosti o tome je li uzletno-sletna staza suha ili mokra [1]:

- a. Potrebnu udaljenost za uzlijetanje u suhim i mokrim uvjetima,
- b. Potrebnu udaljenost za zalet u suhim uvjetima sa čistinom i mokrim uvjetima
- c. potrebnu udaljenost za ubrzanje i zaustavljanje.

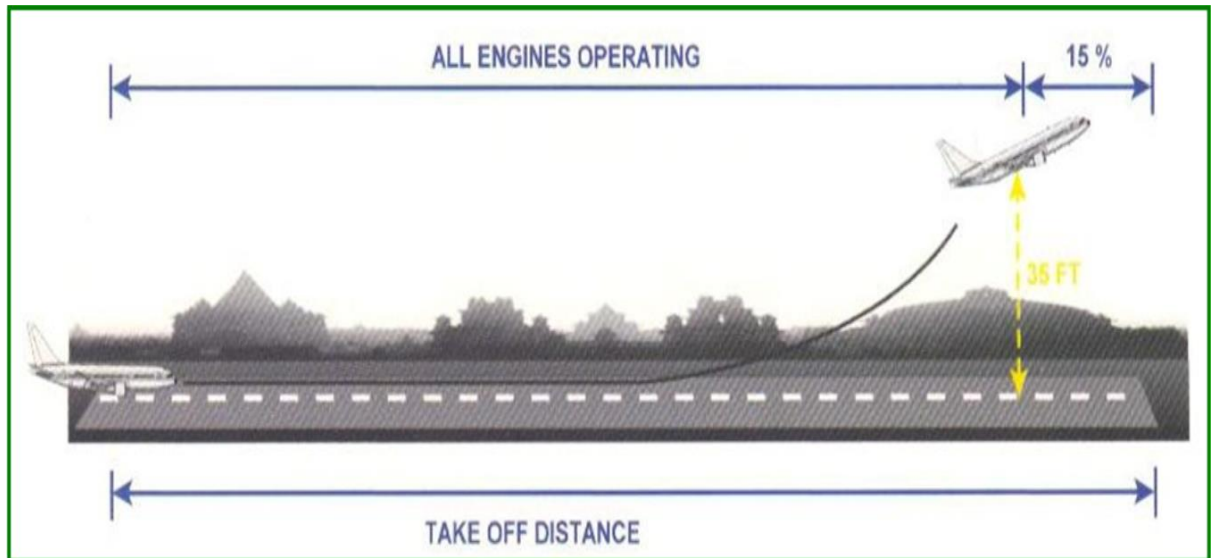
Prema propisanim regulativama potrebna udaljenost za uzlijetanje u suhim uvjetima mora biti veća od [1]:

- a. udaljenosti od početka zaleta za uzlijetanje do točke gdje se zrakoplov nalazi na 35ft iznad površine uzletno-sletne staze uzimajući u obzir kvar kritičnog motora u određenoj  $V_{EF}$  (brzina pri kojoj dolazi do kvara kritičnog motora) točki. Navedeno se može vidjeti na slici 3.



Slika 3. Potrebna udaljenost za uzlijetanje u suhim uvjetima sa kvarom motora, [1]

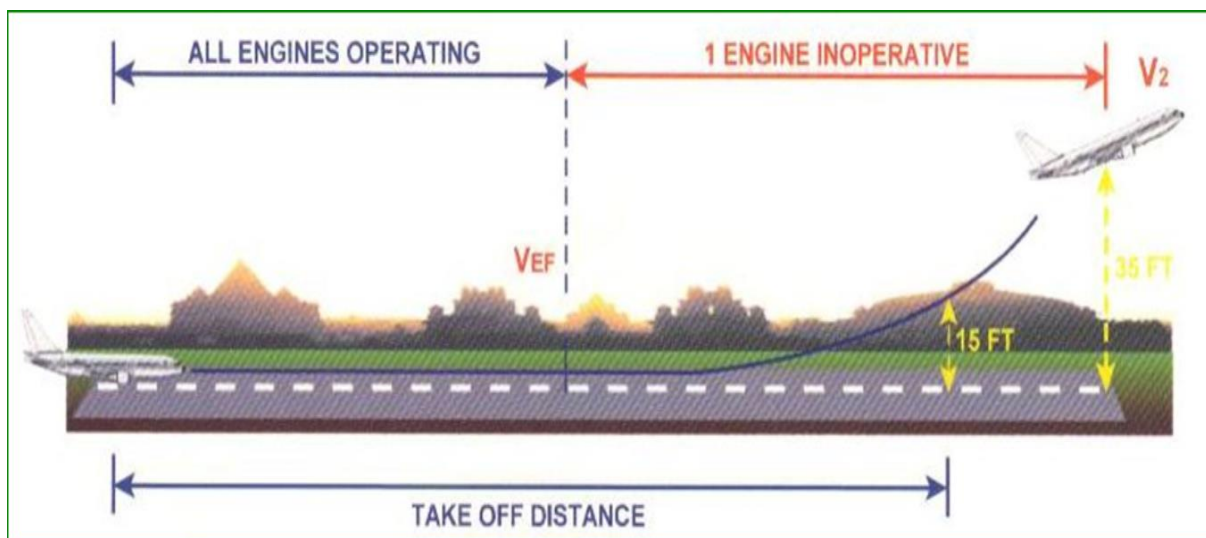
- b. 115% udaljenosti od početka zaleta za uzlijetanje do točke u kojoj se zrakoplov nalazi 35ft iznad površine staze sa svim motorima operativnim. Navedeno se može vidjeti na slici 4.



Slika 4. Potrebne udaljenosti za uzlijetanje u suhim uvjetima bez kvara motora, [1]

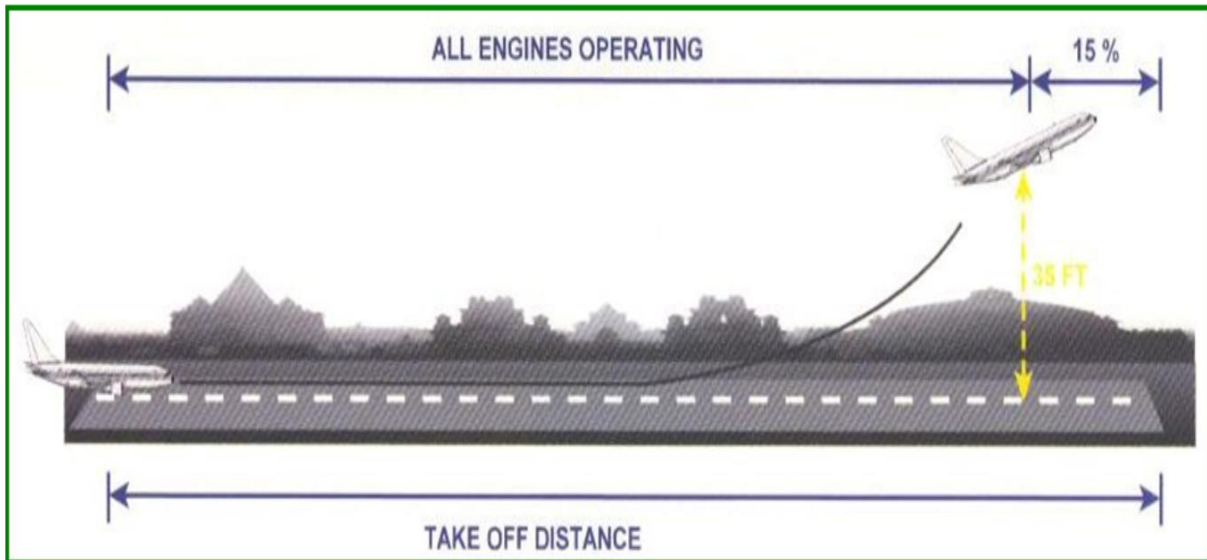
U mokrim uvjetima se razlikuju pojedinosti u propisima, tako potrebna udaljenosti za uzlijetanje u takvim situacijama mora biti veća od [1]:

- a. Udaljenosti od početka zaleta za uzlijetanje do točke u kojoj se zrakoplov nalazi ma 15ft iznad površine uzletno-sletne staze, uz uvjet postizanja propisane vrijednosti brzine  $V_2$  prije dostizanja točke koja se nalazi 35ft iznad površine staze, uzimajući u obzir kvar kritičnog motora u određenoj  $V_{ef}$  točki (koja u ovoj situaciji korespondira brzini  $V_{go}$  – najmanjoj mogućoj brzini odluke pri kojoj se uzlijetanje može nastaviti unutar dostupnih udaljenosti). Navedeno se može vidjeti na slici 5.



Slika 5. Potrebna udaljenost za uzlijetanje u mokrim uvjetima uz kvar motora, [1]

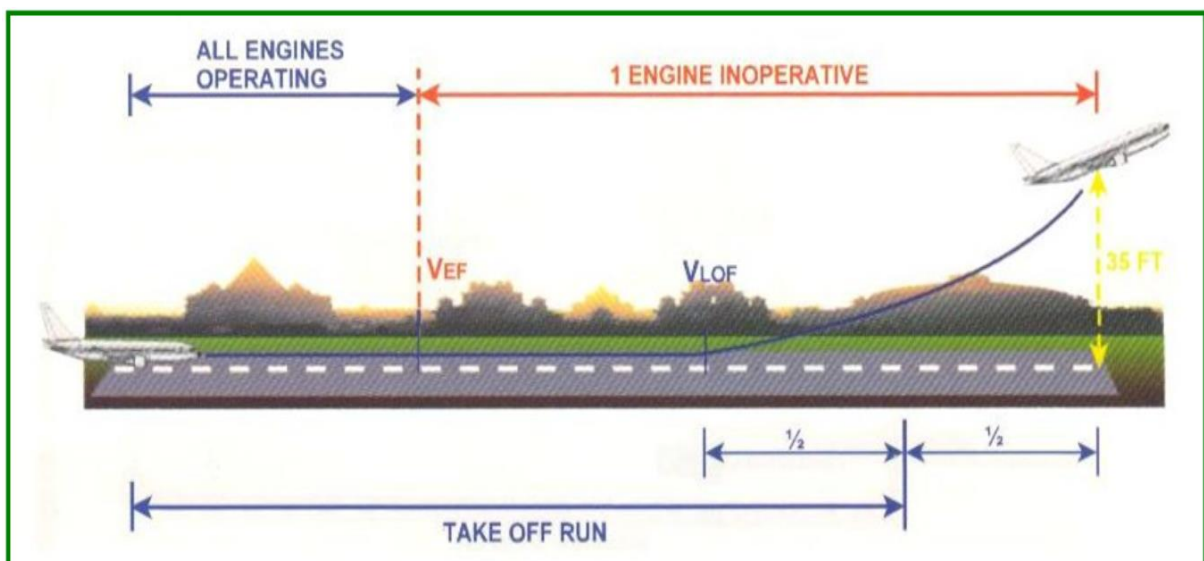
- b. 115% udaljenosti od početka zaleta za uzlijetanje do točke gdje se zrakoplov nalazi 35% iznad površine uzletno-sletne staze sa svim motorima operativnim. Navedeno se može vidjeti na slici 6.



Slika 6. Potrebna udaljenost za uzlijetanje u mokrim uvjetima bez kvara motora, [1]

U slučaju da postoji čistina, potrebna duljina za zalet u suhim uvjetima treba biti veća od [1]:

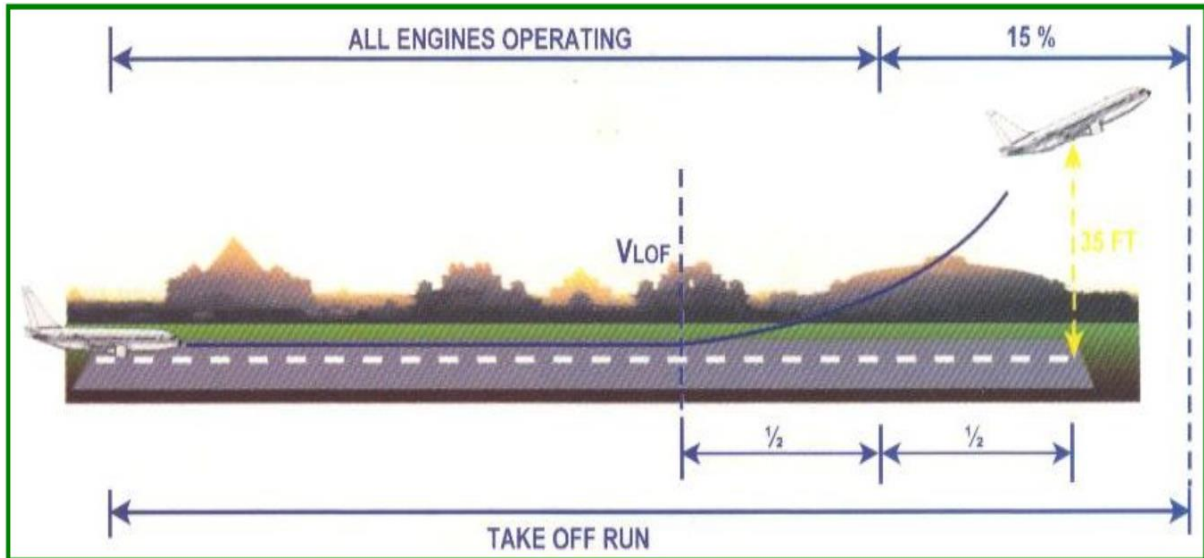
- a. Udaljenosti od početka zaleta za uzlijetanje do točke koja je na pola puta između točke gdje zrakoplov postiže brzinu  $V_{lof}$  (brzina pri kojoj se zrakoplov odvaja od podloge) i točke gdje je zrakoplov 35 ft iznad površine uzletno-sletne staze, uz kvar kritičnog motora u određenoj poziciji  $V_{ef}$ . Navedeno se može vidjeti na slici 7.



Slika 7. Potrebna udaljenost za zalet u suhim uvjetima uz kvar motora, [1]



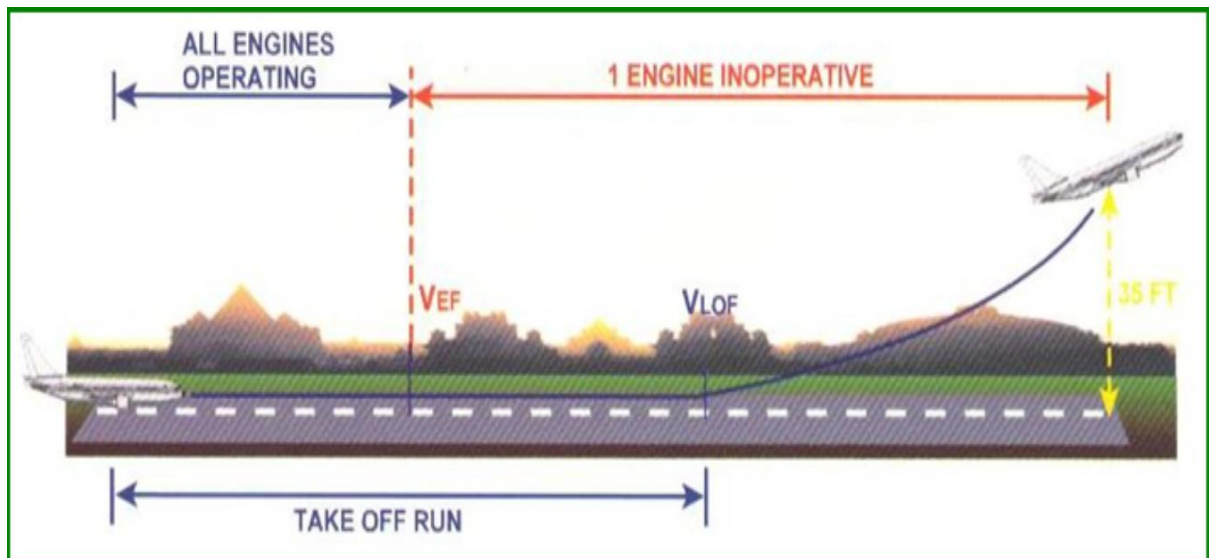
- b. 115% udaljenosti od početka zaleta za uzlijetanje do točke koja se nalazi između točke gdje se postiže brzina  $V_{lof}$  (brzina pri kojoj se zrakoplov odvaja od površine staze) i točke gdje je zrakoplov 35 ft iznad površine staze uz sve motore operativne. Navedeno se može vidjeti na slici 8.



Slika 8. Potrebna duljina za zalet u suhim uvjetima bez kvara motora, [1]

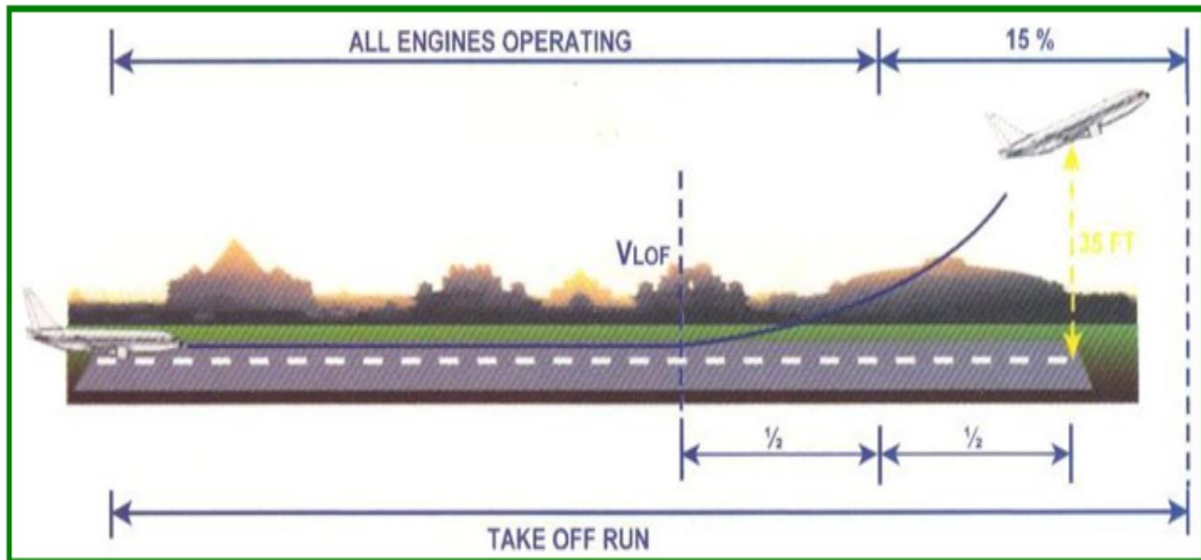
Ukoliko je staza mokra tada se zahtjevi mijenjaju i tako potrebna duljina za zalet mora biti veća od [1]:

- a. Udaljenosti od početka zaleta za uzlijetanje do točke gdje se postiže brzina  $V_{lof}$ , uzimajući u obzir kvar kritičnog motora u određenom trenutku gdje je brzina  $V_{ef}$  koja tada korespondira brzini  $V_{go}$ . Navedeno se može vidjeti na slici 9.



Slika 9. Potreba duljina za zalet u mokrim uvjetima uz kvar motora, [1]

- b. 115% udaljenosti od početka zaleta za uzlijetanje do točke koja se nalazi između pozicije gdje je postignuta brzina  $V_{lof}$  i točke gdje se zrakoplov nalazi na 35 ft iznad površine uzletno-sletne staze uz sve motore operativne. Navedeno se može vidjeti na slici 10.

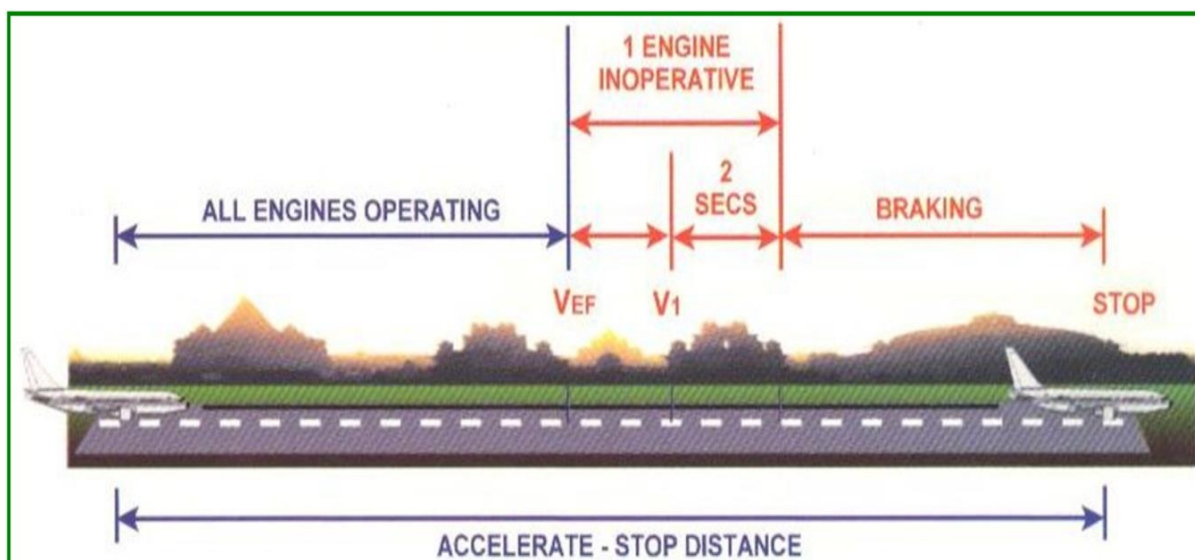


Slika 10. Potrebna duljina za zalet u mokrim uvjetima bez kvara motora, [1]

U klasi performansi A za potrebnu udaljenost za ubrzavanje ili zaustavljanje uvjeti se ponovno dijele na situacije suhe i mokre uzletno-sletne staze, i to na način da potrebna udaljenost mora biti veća od zbroja pojedinih udaljenosti koje nalažu regulative [1].

U slučaju suhe staze potrebna udaljenost uz kvar kritičnog motora mora biti veća od zbroja udaljenosti potrebnih da zrakoplov [1]:

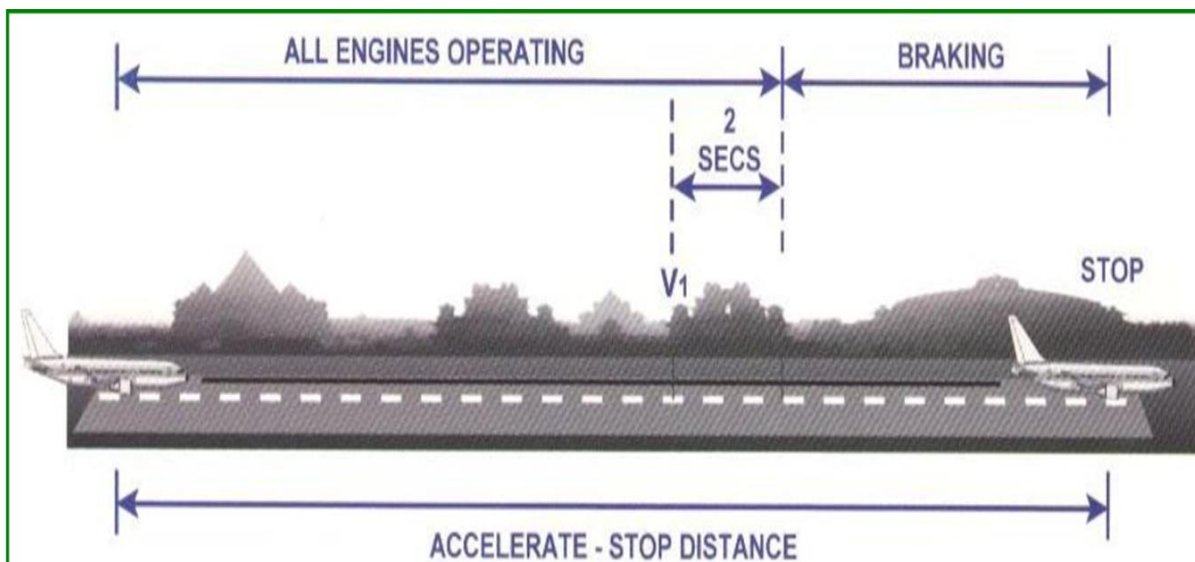
- Ubrza od početka zaleta za uzlijetanje do točke gdje je postignuta brzina  $V_{ef}$  sa svim motorima u funkciji
- Ubrza od točke  $V_{ef}$  do točke gdje je postignuta brzina  $V_1$  i nastavi ubrzavati još 2 sekunde nakon postizanja brzine  $V_1$  uz uvjet kvara kritičnog motora na poziciji gdje je dostignuta brzina  $V_{ef}$
- Dođe do potpunog zaustavljanja od točke 2 sekunde nakon ubrzavanja poslije postignute  $V_1$  brzine uzimajući u obzir da pilot ne koristi postupke retardacije zrakoplova. Navedeno se može vidjeti na slici 11.



Slika 11. Potrebna duljina za ubrzavanje i zaustavljanje u suhim uvjetima uz kvar motora, [1]

Odnosno u slučaju svih motora operativnih prilikom suhih uvjeta na stazi, potrebna udaljenost za ubrzavanje i zaustavljanje mora biti veća od zbroja udaljenosti potrebnih da zrakoplov [1]:

- a. Ubrza od početka zaleta za uzlijetanje do točke gdje postigne brzinu  $V_1$  (brzina odluke pri kojoj pilot odlučuje hoće li nastaviti polijetanje ili otkazati) i nastavi ubrzavati još 2 sekunde nakon postizanja navedene brzine
- b. Dođe do potpunog zaustavljanja od točke 2 sekunde nakon postizanja brzine  $V_1$  uz uvjet da pilot ne koristi nikakve postupke retardacije. Navedeno se može vidjeti na slici 12.

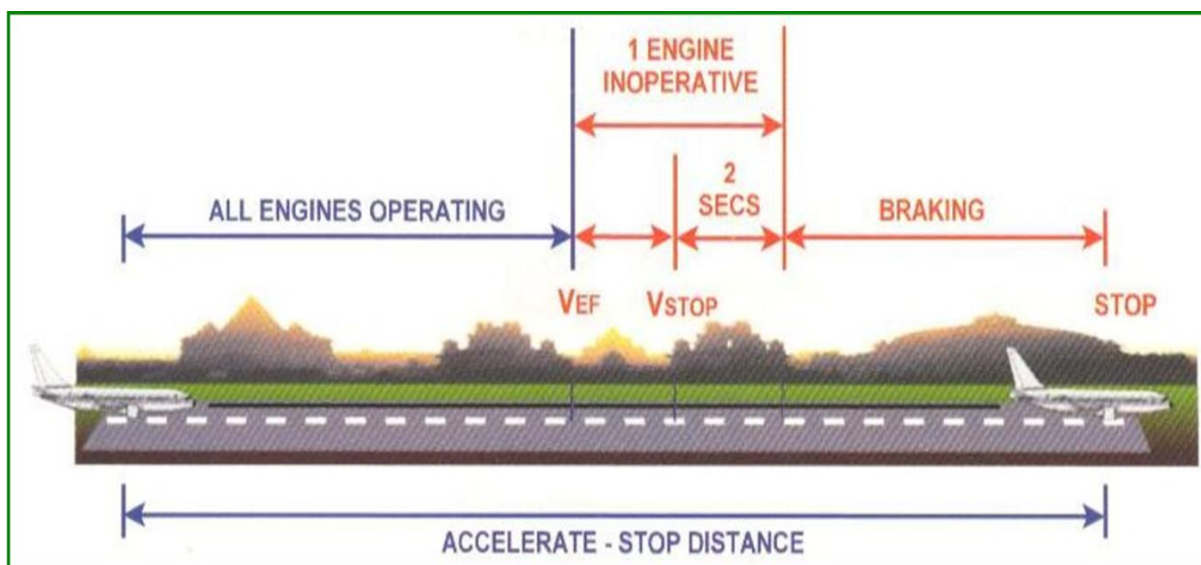


Slika 12. Potrebna udaljenost za ubrzavanje i zaustavljanje u suhim uvjetima bez kvara motora, [1]

Zbog drukčijih uvjeta na stazi prilikom mokre uzletno-sletne staze, propisi traže malo drukčije zahtjeve nego li u suhim uvjetima.

Potrebna udaljenost za uzlijetanje i zaustavljanje u mokrim uvjetima uz kvar kritičnog motora mora biti veća od zbroja udaljenosti potrebnih da zrakoplov [1]:

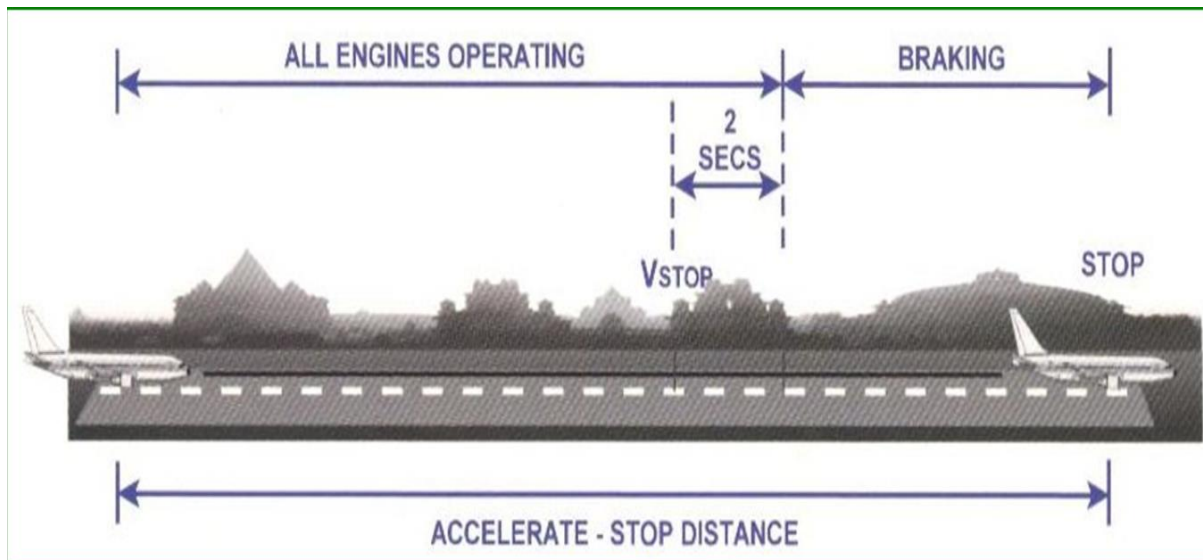
- Ubrza od početka zaleta za uzlijetanje do točke gdje je postignuta brzina  $V_{ef}$  sa svim motorima u funkciji
- Ubrza od točke  $V_{ef}$  do točke gdje je postignuta brzina  $V_{stop}$  (najveća moguća brzina pri kojoj se zrakoplov može zaustavit unutar dostupnih duljina uključujući i stazu za zaustavljanje) i nastavi ubrzavati još 2 sekunde nakon postizanja brzine  $V_{stop}$  uz uvjet kvara kritičnog motora na poziciji gdje je dostignuta brzina  $V_{ef}$
- Dođe do potpunog zaustavljanja na mokroj uzletno-sletnoj stazi od točke 2 sekunde nakon postizanja brzine  $V_{stop}$ . Navedeno se može vidjeti na slici 13.



Slika 13. Potrebna duljina za ubrzavanje i zaustavljanje u mokrim uvjetima uz kvar motora, [1]

U situaciji gdje su svi motori operativni, potrebna udaljenost za uzlijetanje i zaustavljanje mora biti veća od zbroja udaljenosti potrebnih da zrakoplov [1]:

- Ubrza od početka zaleta do točke gdje postiže brzinu  $V_{stop}$  i nastavi ubrzavati još 2 sekunde
- Dođe do potpunog zaustavljanja na mokroj stazi od točke 2 sekunde nakon postizanja brzine  $V_{stop}$ . Sve navedeno se može vidjeti na slici 14.



Slika 14. Potrebna duljina za ubrzavanje i zaustavljanje u mokrim uvjetima bez kvara motora, [1]

#### 4.1.2. slijetanje zrakoplova klase performansi A

Prilikom slijetanja na raspoložive duljine na suhoj uzletno-sletnoj stazi na datom aerodromu, zrakoplovi će imati razlike u zahtjevima temeljene na vrsti pogona motora.

Tako regulative zahtijevaju od zrakoplova odnosno pilota da na određeni aerodrom ili na bilo koji alternativni sleti s visine od 50 ft iznad praga do potpunog zaustavljanja [2]:

- a. Unutar 60% raspoložive udaljenosti za slijetanje kod aviona na turbomlazni pogon,
- b. Unutar 70% raspoložive udaljenosti za slijetanje kod aviona na turbo-elisni pogon.

U slučajevima mokrih ili onečišćenih uzletno-sletnih staza zahtjevi su slijedeći [2]:

- a. Ako se očekuje da će za vrijeme slijetanja na aerodromu biti mokra uzletno-sletna staza, tada dostupna udaljenost za slijetanje mora iznositi 115% potrebne duljine za slijetanje u suhim uvjetima,
- b. Ukoliko se očekuje da će uslijed vremenskih uvjeta staza biti onečišćena za vrijeme slijetanja, tada dostupna udaljenost za slijetanje ne smije biti manja od 115% potrebne duljine za slijetanje u suhim uvjetima ili 115% potrebne duljine za slijetanje u skladu s odobrenim podacima za slijetanje u onečišćenim uvjetima, ovisno što je veće.
- c. Ukoliko AFM (eng. aircraft flight manual) uključuje dodatne podatke za slijetanje na mokroj stazi onda se može upotrebljavati kraća udaljenost za slijetanje od one propisane u mokrim uvjetima bez dodatnih podataka iz AFM-a, ali ne kraća od one zahtijevane u suhim uvjetima.
- d. Ukoliko AFM uključuje dodatne podatke za slijetanje na onečišćenoj stazi onda se može upotrebljavati kraća udaljenost od one u onečišćenim uvjetima bez dodatnih podataka iz AFM-a, ali ne kraća od one u suhim uvjetima.

## 4.2. Klasa performansi B

Zrakoplovi koji spadaju pod klasu performansi B su oni koji su pokretani elisnim motorima i imaju 9 ili manje putničkih mjesta ili im je najveća dopuštena masa pri uzlijetanju 5700 kilograma ili manje. Kod klase B zrakoplovi u ovisnosti o broju motora odnosno jesu li jednomotorci ili s više motora imaju poneke drukčije zahtjeve performansi [2]:

### 4.2.1. Uzlijetanje zrakoplova klase B performansi

Kod uzlijetanja i zrakoplovi s jednim i zrakoplovi s dva ili više motora podliježu istim zahtjevima regulativa. Tako se kod zrakoplova klase B osim ako nije drugačije propisano, koriste dostupni podaci za faktore koji se primjenjuju datom AFM-u zrakoplova. Podaci za faktore se dijele po slijedećoj tablici [4]:

Tablica 1. Faktori za izračun potrebnih duljina u ovisnosti o stanju i vrsti podloge [4].

<b>Površina uzletno-sletne staze</b>	<b>Stanje staze</b>	<b>Faktor</b>
Travnata (na čvrstom tlu) do 20 cm visine	Mokra	1.3
Travnata (na čvrstom tlu) do 20 cm visine	Suha	1.2
Asfalt	Mokra	1.0

Prilikom zahtjeva za potrebne udaljenosti potrebno je znati što je nefaktorirana udaljenost u smislu udaljenosti u klasi B. Nefaktorirana potrebna udaljenost za uzlijetanje je udaljenost od početka zaleta pa do pozicije gdje je zrakoplov 50 ft iznad površine staze uz postavljenu snagu motora na snagu za uzlijetanje, da se rotira pri brzini  $V_R$  i da postiže propisanu brzinu na toj točki gdje je 50ft iznad površine staze. Prilikom zadovoljavanja prvotnih zahtjeva potrebno je znati vrijednosti koje smiju imati napisani faktori. Prilikom zadovoljavanja brzine rotacije  $V_R$  ta ista brzina ne smije biti manja od brzine sloma uzgona pri konfiguraciji zrakoplova za krstarenje odnosno  $V_{S1}$ . a brzina na visini od 50ft ne smije biti manja od ili brzine koja je sigurna za sve očekivane uvjete ili  $1.2 V_{S1}$  ovisno koja je veća. Nefaktorirana potrebna udaljenost za uzlijetanje je objavljena u zrakoplovnim priručnicima [1].

Potrebna udaljenost za uzlijetanje kod klase B razlikuje se u ovisnosti o postojanju čistine ili/i zaustavne trake na aerodromu. Tako se u slučaju ne postojanja ijedne od navedenih duljina zahtjeva od zrakoplova klase B da im potrebna udaljenost za uzlijetanje ne smije prijeći dostupnu udaljenost za zalet na aerodromu [1].

U slučaju kada ijedna od prethodno navedenih duljina postoji zahtjevi se razlikuju, tako je propisano da [1]:

- a. Potrebna udaljenost za uzlijetanje ne smije prijeći dostupnu udaljenost za zalet,
- b. Potrebna udaljenost za uzlijetanje pomnožena s faktorom 1.15 ne smije prijeći dostupnu udaljenost za uzlijetanje i
- c. Potrebna udaljenost za uzlijetanje pomnožena s faktorom 1.30 ne smije prijeći dostupnu udaljenost za ubrzavanje i zaustavljanje.

Naravno i takvi zahtjevi ovise o raznim faktorima to jest varijablama. Tako se prilikom računanja potrebne duljine za uzlijetanje treba uzeti u obzir više različitih stavki odnosno dokazat sukladnosti sa spomenutim regulativama, a to su [2]:

- a. Masa zrakoplova na startu zaleta za uzlijetanje,
- b. Barometarska visina na aerodromu,
- c. Temperatura na aerodromu,
- d. Stanje i vrsta površine uzletno-sletne staze na aerodromu,
- e. Nagib staze u smjeru polijetanja i
- f. Minimalno 150% leđne komponente vjetra ili maksimalno 50% čeone komponente vjetra.

I kao jedan od najvažnijih uvjeta za zadovoljavanje se smatra uvjet da masa pri polijetanju ne smije prijeći najveću dopuštenu masu pri polijetanju koja je propisana u operativnom priručniku zrakoplova za datu temperaturu na aerodromu i barometarsku visinu aerodroma na kojem će se dogoditi uzlijetanje.

#### 4.2.2. Slijetanje zrakoplova klase B performansi

Kao što su zahtjevi kod uzlijetanja isti za zrakoplove s jednim i zrakoplove s dva ili više motora tako se i regulative kod potrebnih udaljenosti kod slijetanja podudaraju. Naravno postoje scenariji sa suhom uzletno-sletnom stazom i sa mokrom odnosno onečišćenom stazom [2]:

U uvjetima suhe uzletno-sletne staze regulativa nalaže da zrakoplov mora od visine 50 ft doći do potpunog zaustavljanja unutar 70% dostupnih duljina na odredišnom ili alternativnom aerodromu [2]:

Kod staza koje se smatraju mokrima ili onečišćenima regulative nalažu da [2]:

- a. Kod staze za koju se očekuje da će biti mokra u trenutku dolaska zrakoplova na slijetanje, dostupna udaljenost za slijetanje mora biti povećana za faktor od 1.15
- b. Ukoliko se očekuje onečišćena uzletno-sletna staza u trenucima dolaska zrakoplova na slijetanje, tada potrebna staza za zaustavljanje nije veća od dostupne udaljenosti za slijetanje,
- c. Ako AFM daje dodatne informacije o slijetanju na mokre staze, onda se može koristiti i manja potrebna udaljenost za slijetanje od one zahtijevane

pod regulativa za mokre staze bez dodatnih podataka iz AFM-a, ali ne kraće od onih udaljenosti propisanih za suhe uvijete prilikom slijetanja.

### 4.3. Klasa performansi C

U klasu zrakoplova performansi C spadaju zrakoplovi koji su pogonjeni s više klipnih motora sa ili više od 5700 kilograma ili više od 9 putničkih sjedala. Takvih zrakoplova je sve manje i prava su rijetkost u današnje vrijeme [2]:

#### 4.3.1. Uzlijetanje zrakoplova klase performansi C

Za zrakoplove koji u svojim AFM-ima sadrže podatke kod kojih ne ulazi u obzir varijabla kvara motora, tada potrebna duljina od početka zaleta do postizanja visine od 50ft, uz uvjet da su motori na maksimalnoj snazi, ne smije biti veća od dostupne udaljenosti za zalet na aerodromu s kojeg polijeće. Bitna stavka je faktor koji množi potrebnu udaljenost i on se razlikuje za avione s različitim brojem motora. Uslijed toga se potrebna udaljenost množi sa [4]:

1. Faktorom 1.33 za dvomotorne zrakoplove,
2. Faktorom 1.25 za zrakoplove s tri motora i
3. Faktorom 1.18 za zrakoplove s četiri motora.

Navedene stavke se odnose za uzlijetanje u suhim uvjetima. Ukoliko je staza na aerodromu onečišćena, prvi potez pilota je da sačeka da se uzletno-sletna staza očisti. Ako to nije moguće. Polijetanje se može uzeti u obzir samo ako se dokaže da će uz prilagodbe performansi zrakoplov moći poletjeti bez ugrožavanje ikakve sigurnosti zrakoplova i ostalog prometa ili okolnog prostora. Ako se staza smatra mokrom također nije preporučljivo izvoditi operacije jer se performanse na stazi ne podudaraju s onima u suhim uvjetima i stoga se ukupna razina sigurnosti održava pri mokrim uvjetima samo ako se takve operacije limitiraju samo na rijetke situacije [4].

Za zrakoplove koji imaju u svojim AFM-ima podatke za duljine staze u slučajevima polijetanja s kvarom motora, moraju ispunjavati uvjete u skladu s propisanim podacima u AFM-u, a to je da [2]:

1. Potrebna duljina za ubrzavanje i zaustavljanje nije veća od dostupne duljine za ubrzavanje i zaustavljanje,
2. Potrebna duljina za uzlijetanje nije veća od dostupne duljine za uzlijetanje s tim da duljina čistine ne prelazi vrijednosti dostupne duljine za zalet,
3. Potrebni zalet nije veći od dostupne udaljenosti za zalet,
4. Za prekinuto i neprekinuto uzlijetanje koristi se pojedinačna vrijednost brzine odluke  $V_1$  i
5. Na mokroj ili onečišćenoj stazi masa pri uzlijetanju nije veća od one dopuštene kod polijetanja sa suhe uzletno-sletne staze pod istim uvjetima.



Prilikom proračunavanja potrebnih razdaljina nije dovoljno se samo pridržavati navedenih zahtjeva, već je potrebno uzeti u obzir poneke druge segmente koji čine razliku potrebnih duljina za uzlijetanje. U obzir se uzimaju slijedeće stavke [2]:

- a. Barometarska visina na aerodromu,
- b. Temperatura na aerodromu,
- c. Vrsta i stanje površine uzletno-sletne staze,
- d. Nagib staze u smjeru polijetanja,
- e. Ukoliko dođe do njega, gubitak dijela duljine staze zbog poravnavanja prije polijetanja i
- f. Minimalno 150% leđne komponente vjetra ili maksimalno 50% čeone komponente vjetra.

#### 4.3.2. Slijetanje zrakoplova klase performansi C

Uz masu određenu u skladu s propisima, zrakoplovi klase c performansi moraju sletjeti od 50ft iznad površine praga do udaljenosti od 70% dostupne udaljenosti za slijetanje za slučaj suhe staze. Međutim potrebno je u obzir uzeti i poneke druge faktore koji imaju utjecaja na udaljenosti kao što su:

1. Apsolutna visina aerodroma,
2. Nagib staze u smjeru slijetanja,
3. Minimalno 150% leđne ili maksimalno 50% čeone komponente vjetra,
4. Vrstu površine uzletno-sletne staze.

Nadalje, prilikom slijetanja u suhim uvjetima postavljeni su nekakvi regulatorni okviri vezani za otpremu zrakoplova pri kojima se pretpostavlja da će [2]:

1. Zrakoplov sletjeti u uvjetima bez vjetra na najpovoljniju uzletno-sletnu stazu,
2. Zrakoplov sletjeti na stazu koja će u obzir uzimati brzinu i smjer vjetra, teren, značajke to jest karakteristike zrakoplova povezane s njegovim upravljanjem na tlu te pomagala za slijetanje zrakoplova.

Ukoliko se dogodi da operator ne može ispuniti zahtjeve navedene za otprem zrakoplova na određeni aerodrom u uvjetima pod točkom 2. tada se zrakoplov otprema samo pod uvjetom da je određen alternativni aerodrom koji će zadovoljiti sve zahtjeve vezane za dostupne udaljenosti pri slijetanju i zahtjeve za otprem zrakoplova [2].

U slučaju procjene vremenskih uvjeta i pretpostavke da će staza biti mokra prilikom slijetanja, tada dostupna udaljenost za slijetanje mora biti veća ili jednaka potrebnoj duljini za slijetanje pomnožene s faktorom 1.15 [2].

Ukoliko se pretpostavlja da će zbog meteoroloških prilika staza biti onečišćena tokom slijetanja, tada potrebna duljina za slijetanje mora biti manje od dostupne duljine za slijetanje [2].

## 5. UZLIJETANJE I SLIJETANJE CESSNE SKYHAWK 172N I CESSNE SKYHAWK 172R

Iako pripadaju istoj klasi zrakoplova, Cessna 172N i Cessna 172R nemaju iste karakteristike i performanse za sve podjele. Međutim iako imaju podosta razlika, postoji jedan segment u kojem se podaci za oba zrakoplova podudaraju. A to su zahtjevi za uzlijetanje i slijetanje. Zahtjevi za uzlijetanjima i polijetanjima osim u regulativama mogu se naći i u operativnim priručnicima zrakoplova. Tako se u priručnicima za zrakoplove Cessna 172N i Cessna 172R navodi da prilikom uzlijetanja i slijetanja na suhoj asfaltiranoj podlozi moraju se pridržavati propisa za potrebne i dostupne udaljenosti prema vlastitim klasama. No ukoliko se dogodi da zrakoplovi polijeću za suhe, ali travnate podloge tada se u izračunu povećava vrijednost potrebnog zaleta pri tlu za 15% na date uvjete o težini zrakoplova, visini aerodroma i temperaturi na aerodromu prilikom uzlijetanja, odnosno 45% ako se radi o slijetanju na suhu travnatu podlogu [5] [6].

### 5.1. Izračun potrebne udaljenosti za uzlijetanje zrakoplova Cessna Skyhawk 172N

Uzimajući podatke zapisane u operativnom priručniku zrakoplova za izračun potrebne udaljenosti za uzlijetanje, dolazi se do slijedećih podataka. Masa prilikom uzlijetanja iznosi 2300 funti, a kao referentna uzletno-sletna staza će se uzeti staza na aerodromu Split. Uzletno-sletna staza 05 u Splitu iznosi 2550 metara odnosno 8366 stopa (ft) čija je nadmorska visina 70 ft. Od ostalih uvjeta uzeti će se za primjer temperatura od 20°C, suha uzletno-sletna staza i čeon vjetar od 9 čvorova. Proračun će biti odrađen preko iščitavanja propisanih vrijednosti iz tablice na slici 15. [5] [7].

UVJETI:  
zakrilca uvučena  
ručica gasa u položaju za uzlijetanje  
bezonska, ravna, suha staza  
bez vjetra

WEIGHT LBS	TAKEOFF SPEED KIAS		PRESS ALT FT	0°C		10°C		20°C		30°C		40°C	
	LIFT OFF	AT 50 FT		GRND	TOTAL	GRND	TOTAL	GRND	TOTAL	GRND	TOTAL	GRND	TOTAL
				ROLL	TO CLEAR 50 FT OBS	ROLL	TO CLEAR 50 FT OBS	ROLL	TO CLEAR 50 FT OBS	ROLL	TO CLEAR 50 FT OBS	ROLL	TO CLEAR 50 FT OBS
2300	52	59	S.L.	720	1300	775	1390	835	1490	895	1590	960	1700
			1000	790	1420	850	1525	915	1630	980	1745	1050	1865
			2000	865	1555	930	1670	1000	1790	1075	1915	1155	2055
			3000	950	1710	1025	1835	1100	1970	1185	2115	1270	2265
			4000	1045	1880	1125	2025	1210	2175	1300	2335	1400	2510
			5000	1150	2075	1240	2240	1335	2410	1435	2595	1540	2795
			6000	1265	2305	1365	2485	1475	2680	1585	2895	1705	3125
			7000	1400	2565	1510	2770	1630	3000	1755	3245	1890	3515
			8000	1550	2870	1675	3110	1805	3375	1945	3670	2095	3990

Slika 15. Tablica za izračun potrebne udaljenosti za uzlijetanje Cessne 172N, [5]

Iščitavanjem iz tablice sa slike za vrijednost temperature od 20°C uz pomoć interpolacije se izračuna potrebna udaljenost za zatrčavanje.

Za  $t = 20^{\circ}\text{C}$ ,

potrebna udaljenost za zatrčavanje =  $835 + (70-0) * (915 - 835) / (1000 - 0) = 840,6$  stopa.

Zbog postojanja vjetra na aerodromu mora se izvesti korekcija na izračunatu vrijednost. Propisi iz operativnog priručnika nalažu da se za svakih 9 čvorova ukupna potrebna duljina smanji za 10%. Dok se u slučaju leđnog vjetra do 10 čvorova brzine, za svaka 2 čvora duljina povećava za 10%. Zbog toga će stvarna potrebna udaljenost u ovom slučaju iznositi:

➤  $840,6 \text{ stopa} / 1,10 = 764,18 \text{ stopa}$ .

Ostatak potrebne udaljenosti za uzlijetanje čini udaljenost do postizanja pozicije gdje je zrakoplov na 50 stopa (ft) iznad površine odnosno takozvane „screen“ visine. Ukupna udaljenost potrebna za uzlijetanje se gleda od početka zaleta pa do spomenute screen visine. Tako će ukupna potrebna udaljenost biti navedena vrijednost iz tablice sa slike 15. korigirana za date uvjete.

Za  $t = 20^{\circ}\text{C}$ ,

Potrebna udaljenost =  $1490 + (70 - 0) * (1630 - 1490) / (1000-0) = 1499,8$  stopa.

Naravno i ova udaljenost podliježe korekciji za čeonu vjetar iz čega proizlazi da je ukupna potrebna udaljenost za uzlijetanje jednaka:

➤  $1499,8 \text{ stopa} / 1,10 = 1363,45 \text{ stopa}$ .

Zbog navedene vrste površine uzletno-sletne staze na aerodromu u Splitu, nema dodatne korekcije. Međutim da se kojim slučajem radilo o suhoj travnatoj stazi, onda bi bila potreba daljnja korekcija odnosno vrijednost potrebne udaljenosti za zalet bi se povećala za 15% i tada bi iznosila 878,81 stopa. Ukupna potrebna udaljenost se ne treba korigirati, već operativni priručnik nalaže da se samo potreba udaljenost za zalet korigira [5].

## 5.2. Izračun potrebne duljine za slijetanje Cessne Skyhawk 172N

Prilikom slijetanja događa se ista situacija. Zrakoplovi moraju sletjeti unutar dostupnih duljina po regulativama za vlastitu klasu. Ali u priručniku se nalaze podaci za slijetanje pri datim uvjetima težine zrakoplova, nadmorske visine i temperature aerodroma i slijetanja na asfaltiranu suhu uzletno-sletnu stazu. Inkrement pri izračunu potrebne udaljenosti za slijetanje na suhu travnatu podlogu se razlikuje od onoga za uzlijetanje, ali se i dalje podudaraju za oba zrakoplova. Tako se prilikom slijetanja na suhu travnatu podlogu zahtjeva povećanje dijela kretanja zrakoplova na tlu nakon slijetanja za 45% u odnosu na onaj podatak dan za suhu asfaltiranu podlogu [5] [6].

Za izračun potrebne duljine za slijetanje iščitavati će se podaci iz tablice sa slike 16.

UVJETI:

zakrilca na 40 stupnjeva  
isključeni motori  
maksimalno kočenje  
asfaltirana ravna suha staza  
bez vjetra

WEIGHT LBS	SPEED AT 50 FT KIAS	PRESS ALT FT	0°C		10°C		20°C		30°C		40°C	
			GRND ROLL	TOTAL TO CLEAR 50 FT OBS	GRND ROLL	TOTAL TO CLEAR 50 FT OBS	GRND ROLL	TOTAL TO CLEAR 50 FT OBS	GRND ROLL	TOTAL TO CLEAR 50 FT OBS	GRND ROLL	TOTAL TO CLEAR 50 FT OBS
2300	60	S.L.	495	1205	510	1235	530	1265	545	1295	565	1330
		1000	510	1235	530	1265	550	1300	565	1330	585	1365
		2000	530	1265	550	1300	570	1335	590	1370	610	1405
		3000	550	1300	570	1335	590	1370	610	1405	630	1440
		4000	570	1335	590	1370	615	1410	635	1445	655	1480
		5000	590	1370	615	1415	635	1450	655	1485	680	1525
		6000	615	1415	640	1455	660	1490	685	1535	705	1570
		7000	640	1455	660	1495	685	1535	710	1575	730	1615
		8000	665	1500	690	1540	710	1580	735	1620	760	1665

Slika 16. Tablica za izračun potrebne udaljenosti za slijetanje Cessna 172N, [5]

Kao i primjeru za uzlijetanje, isti uvjeti i aerodrom se uzimaju kao referentni. Tako se ponovno operacija izvodi na stazi dužoj 2550m pri nadmorskoj visini 70 stopa i temperaturi 20°C uz čeonu vjetar od 9 čvorova. Ukupna potrebna udaljenost se sastoji od dva segmenta; potrebne udaljenosti za zaustavljanje na tlu i potrebne udaljenosti od pozicije gdje je zrakoplov na 50ft iznad površine tla do dodira sa stazom. Iz tablice se može iščitati podaci za razinu mora i visine u tisućama stopa. Do točnog rješenja se dolazi interpolacijom podataka. Tako se za date uvjete računa potrebna udaljenost za zaustavljanje na tlu [7]:

Za  $t = 20^{\circ}\text{C}$ ,

Potrebna udaljenost na tlu =  $530 + (70 - 0) * (550 - 530) / (1000 - 0) = 531,4$  stope.

Zbog utjecaja čeonog vjetra potrebna je korekcija tog izračuna pa se potrebna udaljenost za slijetanje smanjiva za 10% zbog propisa koji navode da se za svakih 9 čvorova čeonog vjetra smanji 10% potrebne udaljenosti. Dok se za leđni vjetar svako 2 čvora povećava vrijednost za 10% sve do 10 čvorova brzine leđnog vjetra. Iz čeg proizlazi daljnji izračun [5]:

- $531,4 \text{ stope} / 1,10 = 483,09$  stopa, što je u ovom slučaju krajnji izračun i konačna potrebna udaljenost za zaustavljanje na tlu.

Zbog toga što zrakoplov u ovom slučaju slijeće na betonsku i suhu stazu, nema korekcija. Ali da je zrakoplov slijetao na suhu travnatu stazu onda bi se vrijednost potrebne udaljenosti za zaustavljanje morala povećati za 45% i u ovom slučaju bi iznosila 700,48 stopa [5].

Ukupna potrebna udaljenost za slijetanje se također iščitava iz tablice sa slike 16. također kao i u prethodnom izračunu potrebno je korištenje interpolacije i ispravnog računanja.

Za  $t = 20^{\circ}\text{C}$ ,

Potrebna udaljenost za slijetanje =  $1265 + (70 - 0) * (1300 - 1265) / (1000 - 0) = 1267,45$  stopa.

Naravno potrebna je daljnja ispravka zbog učinka vjetra, nakon čega će se dobiti podaci ukupne potrebne udaljenosti za slijetanje za ovaj primjer:

- $1267,45 \text{ stopa} / 1,10 = 1152,23 \text{ stope}$ .

## 6. UZLIJETANJE I SLIJETANJE ZRAKOPLOVA AIRBUS A320

Zrakoplov Airbus A320 prema svojim karakteristikama spada u zrakoplove klase performansi A zbog čega se prilikom uzlijetanja i slijetanja mora pridržavati datih zahtjeva za potrebne udaljenosti kao što je raspisano u poglavlju 4.[1].

### 6.1. Uzlijetanje zrakoplova Airbus A320

Za operaciju uzlijetanja zrakoplova A320 na suhim ili mokrim uzletno-sletnim stazama koriste se objavljeni podaci za zrakoplov i mora se koristiti najnovije izdanje podataka. U operativnom priručniku za spomenuti zrakoplov potrebna duljina za uzlijetanje nalazi se u bazi podataka za performanse [8].

Prilikom polijetanja nije dovoljno samo izračunati dopuštene vrijednosti za maksimalnu masu i potrebnu udaljenost za uzlijetanje. Jedna od bitnijih stavki su procedure ponašanja na različitim podlogama i u drukčijim uvjetima. Tako će propisano operativnim priručnikom za posadu zrakoplova prilikom polijetanja sa suhe ili mokre dobro asfaltirane staze će se koristiti postavka zakrilaca koja daje najveću fleksibilnu temperaturu za polijetanje čime se produžuje vijek trajanja motora i smanjuju operativni troškovi. Na polijetanju sa loše asfaltirane staze postavke zakrilaca će morati biti postavljeni u konfiguraciju 2 ili 3 ( na 15°odnosno 20°) što će kao rezultat dati veću udobnost tokom polijetanja. U uvjetima kontaminirane staze priručnik nalaže polijetanje sa maksimalnim potiskom što je također propisano zahtjevima [9] [10].

Pri polijetanju sa mokre uzletno-sletne staze nije nužno polijetat samo sa staze prekrivene s vodom dubine 3mm, već u mokre staze spadaju i neki drugi onečišćivači u ekvivalentnim vrijednostima. Ekvivalentno mokroj stazi je [9]:

- 2 mm (0.08 inch) bljuzgavice
- 3 mm (0.12 inch) vode
- 4 mm (0.16 inch) mokrog snijega
- 15 mm (0.59 inch) suhog snijega.

U onečišćenu kontaminiranu stazu spadaju veće vrijednosti prekrivenosti površine staze. U operativni priručnik je zapisana i ekvivalentna vrijednost bljuzgavice za date vrijednosti mokrog i suhog snijega. U kontaminiranu stazu spadaju vrijednosti [9]:

- 12.7 mm (1/2 inch) mokrog snijega ekvivalentno 6.3 mm (1/4 inch) bljuzgavice
- 25.4 mm (1 inch) mokrog snijega ekvivalentno 12.7 mm (1/2 inch) bljuzgavice
- 50.8 mm (2 inča) suhog snijega ekvivalentno 6.3 mm (1/4 inch) bljuzgavice
- 101.6 mm (4 inča) suhog snijega ekvivalentno 12.7 mm (1/2 inch) bljuzgavice

Uz bitnu napomenu da nije preporučeno polijetanje sa uzletno-sletne staze prekrivene sa više od 101.6 mm suhog snijega odnosno 25.4 mm mokrog snijega [9].

### 6.1.1. Uzlijetanje s mokre uzletno-sletne staze A320

Prateći operativni priručnik za izračun maksimalne dopuštene mase prilikom polijetanja s mokre staze, potrebno je izvesti šest koraka i to redosljedom treba [9]:

1. Odrediti maksimalnu dopuštenu masu ili fleksibilnu temperaturu i povezane brzine za suhu uzletno-sletnu stazu
2. Između dvije dostupne tablice izabrati potrebnu u ovisnosti je li obrnuti potisak dostupan i je li postoji čistina na aerodromu i po odgovarajućoj tablici uzimati podatke. Dostupne duljine zapisane u tablici odgovaraju dostupnoj duljini za zalet.
3. Primijeniti ispravke ispisane u tablici za maksimalnu dopuštenu masu ili fleksibilnu temperaturu i povezane brzine za suhu stazu
4. Provjeriti jesu li brzine za uzlijetanje veće od minimalnih potrebnih prikazanih u priručniku. Ukoliko jedna ili više brzina nisu veće od zahtijevanih treba se primijeniti sljedeća procedura:
  - *Stvarna masa za polijetanje = maksimalna masa za polijetanje:*  
Ukoliko je  $V_1$  manja od minimalne  $V_1$  vrijednosti, potrebno je uzeti zadnju vrijednosti  $V_1$  brzine i smanjiti masu za 3000 kg (6600 lb) po svakom čvoru razlike između te dvije vrijednosti brzina. Provjerit jesu li  $V_R$  ( Vrotate – brzina rotacije) i  $V_2$  (eng. Takeoff safety speed) veće ili jednake minimalnim vrijednostima. Ako nisu polijetanje nije moguće.
  - *Stvarna masa za polijetanje manja od maksimalne mase za polijetanje:*  
Ako  $V_1$  za odgovarajuću stvarnu masu je manji od minimalnog  $V_1$ :
    - \* Ukoliko maksimalna masa za polijetanje ima brzinu  $V_1$  jednaku ili veću od minimalne vrijednosti za  $V_1$ , treba zadržati minimalnu  $V_1$  brzinu kao  $V_1$  i smanjiti fleksibilnu temperaturu za 4°C po svakom čvoru razlike između tih brzina.
    - \* u rijetkim slučajevima kada je  $V_1$  koji odgovara maksimalnoj masi za polijetanje manji od minimalne vrijednosti brzine  $V_1$ , treba smanjiti maksimalnu masu za 3000 kg (6600 lb) po svakom čvoru razlike među te dvije brzine. Potrebno je ograničiti stvarnu masu za polijetanje do vrijednosti dobivene nakon korištenja korekcije. Potrebno je uzeti  $V_1$  jednaku minimalnoj  $V_1$  i smanjiti fleksibilnu temperaturu za 4°C po svakom čvoru razlike između zadnje vrijednosti i vrijednosti  $V_1$  koja odgovara stvarnoj masi za polijetanje. Treba provjeriti jesu li  $V_R$  i  $V_2$  veće ili jednake minimalnoj propisanoj vrijednosti.
  - Ako  $V_R$  ili  $V_2$  koji odgovaraju stvarnoj masi su ispod minimalne vrijednosti i ako su  $V_R$  i  $V_2$  koji odgovaraju maksimalnoj masi iznad minimalnih vrijednosti, treba zadržati vrijednost minimalne brzine za  $V_R$  i  $V_2$ .
5. Treba provjeriti je li  $V_2$  brzina iznad minimalne vrijednosti  $V_2$  uslijed  $V_{MU}$  brzine ( minimalne brzine odvajanja od tla),
6. Treba provjeriti je li korigirana vrijednost fleksibilne temperature viša od vanjske temperature i referentne temperature.

Slijedeće slike 17. i 18. prikazuju tablice za izračun korigirane mase za polijetanje u ovisnosti o postojanju čistine i valjanosti obrnutog potiska [9].

**OBRNUTI POTISAK INOPERATIVAN (BEZ ČISTINE)**

TAKEOFF CONFIGURATION	1 + F			2			3		
RUNWAY LENGTH (m) (ft)	2500 8000	3000 10000	3500 11500 and above	2000 6500	2500 8000	3000 10000 and above	1750 5750	2000 6500	2500 8000 and above
FLEX TO Temperature decrement (°C)	6	3	2	8	2	2	6	5	2
MAX TO Weight decrement (1000 kg) (1000 lb)	2.4 5.3	0.9 2.0	0.7 1.6	2.6 5.8	0.8 1.8	0.8 1.8	1.8 4.0	1.7 3.8	0.6 1.4
V1 decrement (kt)	15	15	15	15	13	14	14	15	14
VR and V2 decrement (kt)	2	3	3	2	2	3	2	2	2

**OBRNUTI POTISAK OPERATIVAN (BEZ ČISTINE)**

TAKEOFF CONFIGURATION	1 + F			2			3		
RUNWAY LENGTH (m) (ft)	2500 8000	3000 10000	3500 11500 and above	2000 6500	2500 8000	3000 10000 and above	1750 5750	2000 6500	2500 8000 and above
FLEX TO Temperature decrement (°C)	3	1	1	4	1	1	2	1	1
MAX TO Weight decrement (1000 kg) (1000 lb)	1.2 2.7	0.4 0.9	0.3 0.7	1.3 2.9	0.2 0.5	0.2 0.5	0.7 1.6	0.3 0.7	0.3 0.7
V1 decrement (kt)	10	10	10	10	9	9	9	10	10
VR and V2 decrement (kt)	1	1	1	1	0	0	1	1	1

Slika 17. Tablica podataka za korigiranje mase u ovisnosti o operativnosti obrnutog potiska i bez čistine na uzletno-sletnoj stazi, [9]

**OBRNUTI POTISAK INOPERATIVAN (SA ČISTINOM)**

TAKEOFF CONFIGURATION	1 + F			2			3		
RUNWAY LENGTH (m) (ft)	2500 8000	3000 10000	3500 11500 and above	2000 6500	2500 8000	3000 10000 and above	1750 5750	2000 6500	2500 8000 and above
FLEX TO Temperature decrement (°C)	10	4	3	12	5	4	12	8	5
MAX TO Weight decrement (1000 kg) (1000 lb)	3.6 8.0	1.6 3.6	1.2 2.7	3.9 8.6	1.8 4.0	1.5 3.4	4.0 8.9	2.8 6.2	1.8 4.0
V1 decrement (kt)	14	16	15	13	14	14	13	14	14
VR and V2 decrement (kt)	4	6	5	4	6	6	4	5	6

**OBRNUTI POTISAK OPERATIVAN (SA ČISTINOM)**

TAKEOFF CONFIGURATION	1 + F			2			3		
RUNWAY LENGTH (m) (ft)	2500 8000	3000 10000	3500 11500 and above	2000 6500	2500 8000	3000 10000 and above	1750 5750	2000 6500	2500 8000 and above
FLEX TO Temperature decrement (°C)	7	3	2	9	3	3	9	5	3
MAX TO Weight decrement (1000 kg) (1000 lb)	2.6 5.8	1.2 2.7	0.7 1.6	2.8 6.2	1.2 2.7	1.0 2.3	2.9 6.4	1.5 3.4	1.2 2.7
V1 decrement (kt)	10	12	10	8	10	10	8	9	10
VR and V2 decrement (kt)	3	4	3	3	4	4	2	3	4

Slika 18. Prikaz tablice za korekciju mase u ovisnosti o operativnosti obrnutog potiska uz postojanje čistine [9]



Slijedeći korake proračuna mase kod uzlijetanja sa mokre staze bit će prikazan jedan primjer takvog uzlijetanja. Prvotno je potrebno odrediti maksimalnu dopuštenu masu za suhe uvjete, koje se može iščitati iz slijedeće tablice na slici 19. Zadani uvjeti za primjer će biti dužina dostupna za zalet od 3000 m, vanjska temperatura 36°C i konfiguracija za polijetanje 1 + F (konfiguracija položaja pretkrilaca na 18° i zakrilaca na 10° [10]). Iščitavanjem iz slijedeće slike može se vidjeti da je maksimalna dopuštena masa za uzlijetanje 80.100 kg uz vrijednosti brzina:

$V_1 = 153$  čvora,  $V_R = 156$  čvorova i  $V_2 = 158$  čvorova.

OAT °C	CONF 1 + F				
	TAILWIND -10 KT	TAILWIND -5 KT	WIND 0 KT	HEADWIND 10 KT	HEADWIND 20 KT
34.0	76.7 4/6 143/50/52	78.4 4/6 148/53/55	80.2 4/6 154/56/58	81.5 4/6 157/57/60	82.8 4/6 160/60/62
36.0	76.5 4/6 143/49/52	78.4 4/6 148/52/54	80.1 4/6 153/56/58	81.4 4/6 156/57/59	82.7 4/6 160/60/62

Slika 19. Prikaz tablice za izračun maksimalne dopuštene mase u suhim uvjetima na stazi [9]

Nadalje za primjer će biti korišteni uvjeti uz neoperativan obrnuti potisak i bez čistine na stazi. Uzimajući podatke iz tablice sa slike 17. može se iščitati potrebna korekcija na maksimalnu dopuštenu masu:

MTOM (maksimalna dopuštena masa na polijetanju) = 80.100 – 900 = 79.200 kg

$V_1 = 153 - 15 = 138$  čvorova,

$V_R = 156 - 3 = 153$  čvora,

$V_2 = 158 - 3 = 155$  čvorova.

Usljed prve potrebna je i druga korekcija, na fleksibilnu temperaturu:

Pretpostavljajući stvarnu masu za polijetanje od 78.400 kg i inicijalnu fleksibilnu temperaturu od 47°C.

TOW = 78.400 > fleksibilnu temperaturu 47 – 3 = 44°C

$V_1 = 152 - 15 = 137$  čvorova,

$V_R = 154 - 4 = 150$ °C čvorova,

$V_2 = 156 - 4 = 152$  čvora. I izračunate brzine potrebno je usporediti naspram minimalnih propisanih.

#### 6.1.2. Uzlijetanje sa staze kontaminirane sa 12.7 mm (1/2 inch) bljuzgavice A320

Iako su različiti uvjeti na uzletno-sletnoj stazi drugačiji, koraci za izračun mase pri polijetanju sa kontaminirane staze sa 12.7 mm vode će biti isti. Prvi korak je izračun maksimalne dopuštene mase za uzlijetanje pri suhim uvjetima. Slijedeći korak je izračun korekcija mase za date uvjete na aerodromu poput duljine dostupne staze za zalet, konfiguracije za polijetanje i utjecaja vjetera. Nakon čega se treba sa korigiranim masom za polijetanje uz praćenje datih podataka u priručniku odrediti maksimalna masa za uvjete na aerodromu. A za kraj slijedi određivanje brzina za izračunatu masu. Za bolje razumijevanje utjecaja onečišćivača staze prikazat će se primjer i za situaciju ovog pod poglavlja. Uvjeti na aerodromu će biti duljina

staze 3000 m bez čistine, vanjska temperatura 10°C, bez utjecaja vjetrova i konfiguracija za polijetanje 1 + F [9].

Prateći zadane korake potrebno je iz slijedeće tablice sa slike 20. očitati podatke za maksimalnu dopuštenu masu za polijetanje za suhe uvjete.

OAT C	CONF 1+F					CONF 2				
	TAILWIND -10 KT	TAILWIND -5 KT	WIND 0 KT	HEADWIND 10 KT	HEADWIND 20 KT	TAILWIND -10 KT	TAILWIND -5 KT	WIND 0 KT	HEADWIND 10 KT	HEADWIND 20 KT
-20	80.2 4/6	82.0 4/6	83.6 3/4	84.8 3/4	85.8 3/4	80.4 4/6	81.9 3/4	83.4 3/4	84.4 3/4	85.2 2/4
	156/56/58	162/62/64	167/67/69	170/70/72	173/73/75	154/54/59	159/59/64	164/64/69	167/67/72	169/69/74
-10	79.5 4/6	81.3 4/6	83.1 4/6	84.3 3/4	85.3 3/4	79.7 4/6	81.4 4/6	82.9 3/4	84.0 3/4	84.9 3/4
	153/56/58	159/59/62	164/64/66	167/67/69	171/71/72	151/52/57	156/56/62	161/61/66	164/64/69	167/67/72
0	78.8 4/6	80.6 4/6	82.5 4/6	83.7 3/4	84.7 3/4	79.0 4/6	80.8 4/6	82.4 3/4	83.5 3/4	84.5 3/4
	151/54/57	156/57/59	162/62/64	165/65/67	168/68/70	149/51/56	154/54/60	159/59/64	162/62/67	165/65/70
10	78.2 4/6	80.0 4/6	81.8 4/6	83.1 4/6	84.2 3/4	78.4 4/6	80.2 4/6	81.9 3/4	83.0 3/4	83.9 3/4
	148/53/55	154/57/59	159/60/62	163/63/65	166/66/67	147/50/54	152/52/58	156/56/62	159/59/65	162/63/68

Slika 20. Prikaz tablice za očitavanje maksimalne dopuštene mase u suhim uvjetima [9]

Iščitavanjem se može odrediti maksimalna masa za polijetanje za suhe uvjete i iznositi će 81.800 kg. Slijedeći korak bi bio korekcija mase za zadane uvjete. S obzirom da je staza bez čistine gledat će se podaci za taj uvjet u tablici na slici 21.

TAKEOFF CONFIGURATION	CONF 1+F				CONF 2			CONF 3		
RUNWAY LENGTH (m) (ft)	2500 8000	3000 10000	3500 11500	4000 13000 and above	2000 6500	2500 8000	3000 10000 and above	1750 5750	2000 6500	2500 8000 and above
Δ WEIGHT (1000 kg) With clearway	15.9	15.9	16.2	17.2	17.0	14.7	14.7	19.1	17.3	15.5
Without clearway	14.6	14.6	15.8	17.0	15.1	14.1	14.1	16.8	15.4	14.6

Slika 21. Prikaz tablice za korekciju mase u ovisnosti o postojanju čistine za datu uzletno-sletnu stazu [9]

Očitavajući tablicu može se proračunati korigirana masa. Zbog ne postojanja čistine rezultat za masu će biti slijedeći:

Korigirana masa = 81.800 – 14.600 = 67.200 kg. Uzevši podatke iz slijedeće tablice sa slike 22. odredit će se krajnja maksimalna dopuštena masa za polijetanje u datim uvjetima.

C O N F	CORRECTED WEIGHT (1000 kg)	<41.3	41.3	41.3 to 78																		
	MTOW (1000 kg)	-	41.3	EQUAL TO CORRECTED WEIGHT																		
1 +	ACTUAL WEIGHT (1000 kg)	<41.3	41.3	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78
F	V2 (kt IAS)	117	117	118	121	123	126	129	131	134	136	138	141	143	145	148	150	152	155	157	159	161
	VR (kt IAS)	117	117	118	121	123	126	129	131	134	136	138	141	143	145	148	150	152	155	157	159	161
	V1 (kt IAS)	115	115	116	119	121	124	127	129	132	134	136	139	141	143	146	148	150	153	155	157	159

Slika 22. Prikaz tablice za očitavanje konačne dostupne maksimalne mase i datih brzina [9]

Iščitavajući se dolazi do slijedećih zaključaka:

MTOW = 67.200 kg

V<sub>1</sub> = 147 čvorova,

V<sub>R</sub> = 149 čvorova,

V<sub>2</sub> = 149 čvorova.

#### 6.1.2. Uzlijetanje za staze onečišćene zbijenim snijegom A320

Za kompletniju analizu performansi odnosno dopuštene mase za polijetanje i povezanih brzina za zrakoplov Airbus A320 analizirat će se još uzlijetanje i sa staze prekrivene sa zbijenim snijegom i prikazati primjer za date uvjete. Princip dolaska do maksimalne dopuštene mase i brzina jer isti kao i u prethodnim primjerima, ali će razlika bit svojstva koja nosi zbijeni snijeg. Najprecizniju analizu će se dobiti preko usporedbe primjera tako da sada slijedi primjer za već spomenutu situaciju. Duljina dostupne staze za zalet će iznositi 3000 m bez čistine uz vanjsku temperaturu od 0°C i bez utjecaja vjetra uz konfiguraciju za uzlijetanje 1 + F. referirajući se na tablicu sa slike 20.

MTOW u suhim uvjetima = 82.500 kg

Za dobiti ispravnu korigiranu masu za polijetanje bit će potrebno iščitati podatke iz slijedeće tablice sa slike 23.

TAKEOFF CONFIGURATION	CONF 1 + F				CONF 2			CONF 3		
RUNWAY LENGTH (m) (ft)	2500 8000	3000 10000	3500 11500	4000 13000 and above	2000 6500	2500 8000	3000 10000 and above	1750 5750	2000 6500	2500 8000 and above
ΔWeight (1000 kg) With clearway Without clearway	6.1 6.1	6.1 6.1	6.1 6.1	6.1 6.1	8.7 6.8	4.9 4.9	4.9 4.9	11.8 9.5	8.7 6.8	5.8 4.9

Slika 23. Prikaz tablice za očitavanje korigirane mase za datu duljinu za zalet u ovisnosti o postojanju čistine [9]

Korigirana masa će tako iznositi:

$$82.500 - 6100 = 76.400 \text{ kg}$$

Za očitavanje konačne maksimalne mase i brzina povezanih uz nju bit će potrebno još jedno iščitavanje iz tablice sa slike 24.

CONF 1 + F	CORRECTED WEIGHT (1000kg)	<46.2	46.2	47.3	47.3 to 78																		
	MTOW (1000 kg)	-	41.3	47.3	EQUAL TO CORRECTED WEIGHT																		
	ACTUAL WEIGHT (1000 kg)	<41.3	41.3	42	44	46	47.3	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78
	V2 (kt IAS)	117	117	118	121	123	125	126	129	131	134	136	138	141	143	145	148	150	152	155	157	159	161
VR (kt IAS)	116	116	117	120	122	124	125	128	130	133	135	137	140	142	144	147	149	151	154	156	158	160	
V1 (kt IAS)	110	110	110	110	110	110	111	114	116	119	121	123	126	128	130	133	135	137	140	142	144	146	

Slika 24. Prikaz tablice za ispravno očitavanje konačne mase za polijetanje i povezanih brzina u uvjetima kontaminacije zbijenim snijegom na stazi [9]

Očitavajući prikazanu tablicu na slici 24. proizlaze sljedeći podaci za masu i brzine.

MTOW = 76.400 kg

$V_1 = 144$  čvorova

$V_R = 158$  čvorova

$V_2 = 159$  čvorova.

## 6.2. Slijetanje zrakoplova Airbus A320

Prateći već navedene podatke iz poglavlja 4. da se uvidjeti da Airbus A320 prilikom slijetanja ima zahtjev da mu potrebna duljina za slijetanje mora iznositi 60% dostupne duljine za slijetanje, pretpostavljajući da je staza suha. Ukoliko je uzletno-sletna staza mokra potrebna udaljenost za slijetanje se povećava za 15%. [8].

Zrakoplov A320 u opciji prilikom slijetanja ima i automatsko slijetanje uz ručno slijetanje. Regulative propisane zrakoplovnim priručnikom nalažu da potrebna duljina za slijetanje bude jednaka stvarnoj duljini za slijetanje u automatskom slijetanju pomnoženo sa faktorom 1.15 [9].

Kao što prilikom polijetanja postoje različiti zahtjevi i propisi za dostupne duljine za uvjete koji se nalaze u tom datom trenutku na aerodromu, tako se i prilikom slijetanja razlikuju pojedine udaljenosti. Za A320 će se u narednim redcima prikazati stvarna udaljenost za slijetanje u ovisnosti o uvjetima i korekcije koje su zahtijevane naspram tih uvjeta. U tablici na slici 25. se mogu uvidjeti podaci u ovisnosti stanja uzletno-sletne staze za datu kilažu zrakoplova prilikom potpune konfiguracije za slijetanje [9].

ACTUAL LANDING DISTANCE (METERS)											
WEIGHT (1000 KG)		46	50	54	58	62	66	70	74	78	
RUNWAY CONDITION	DRY	700	730	770	800	840	910	990	1080	1170	
	WET	920	980	1040	1110	1180	1240	1320	1390	1460	
	COVERED WITH	6.3 MM (1/4INCH) WATER	1220	1300	1380	1480	1590	1700	1810	1930	2020
		12.7 MM (1/2INCH) WATER	1190	1260	1340	1430	1530	1630	1730	1840	1930
		6.3 MM (1/4INCH) SLUSH	1180	1260	1340	1420	1500	1580	1670	1770	1860
		12.7 MM (1/2INCH) SLUSH	1150	1220	1300	1370	1450	1530	1610	1700	1780
		COMPACTED SNOW	1190	1270	1340	1410	1480	1550	1620	1700	1750
ICE	2570	2690	2820	2950	3090	3230	3370	3510	3620		

Slika 25. Prikaz tablice za ispravno očitavanje stvarne duljine za slijetanje [9]

Nakon što bi se očitali pojedini podatci potrebne su korekcije. Ispravan način korigiranja dostupnih duljina će se vidjeti u tablici na slici 26.

	CORRECTION ON ACTUAL LANDING DISTANCE							
	dry runway	wet runway	runway covered with					
			1/4 inch water	1/2 inch water	1/4 inch slush	1/2 inch slush	compacted snow	ice
per 1000 ft above SL	+ 3 %	+ 3 %	+ 4 %	+ 4 %	+ 5 %	+ 4 %	+ 3 %	+ 4 %
per 10 kt headwind	No correction for headwind due to wind correction on approach speed							
per 10 kt tailwind	+ 18 %	+ 21 %	+ 23 %	+ 21 %	+ 22 %	+ 20 %	+ 18 %	+ 31 %
forward C.G.	+ 2 %	+ 3 %	+ 3 %	+ 3 %	+ 3 %	+ 3 %	+ 3 %	+ 3 %
2 reversers operative	-3 %	-8 %	-10 %	-10 %	-9 %	-8 %	-8 %	-24 %
Per 5 kt speed increment (and no failure) add 8% (all runways)								

Slika 26. Prikaz tablice za ispravnu korekciju stvarne duljine za slijetanje zrakoplova [9]

Za bolje shvaćanje tematike prikazat će se primjer korekcije stvarne duljine. Za potrebe primjera uzet će se masa zrakoplova 66.000 kg i mokra uzletno-sletna staza na 2000 ft nadmorske visine i čeonu vjetar od 5 čvorova.

Iščitavanjem podataka sa slike 25. može se primijetiti da će stvarna duljina za slijetanje iznositi 1240 m.

Nakon korekcije za navedene uvjete bit će potrebno zbog nadmorske visine povećati stvarnu udaljenosti za 6% na mokroj stazi i bez korekcije za čeonu vjetar jer se ta korekcija vrši na prilaznoj brzini. Tako će u konačnici stvarna udaljenost za slijetanje u ovom primjeru iznositi:

$$1240 + 0.06 \cdot 1240 = 1314,40 \text{ metara.}$$

Prilikom proračuna potrebne udaljenosti za slijetanje princip izračuna će biti sličan, ali će se korekcije naravno razlikovati. Za bolje primjećivanje razlike u stvarnoj i potrebnoj duljini za slijetanje koristit će se isti uvjeti; 66.000kg, nadmorska visina aerodroma 2000ft, potpuna konfiguracija za slijetanje i čeonu vjetar 5 čvorova.

Iz tablice sa slike 27. mogu se očitati prvotni podatci za potrebnu udaljenost u odnosu na masu zrakoplova za ručno izvršavanje slijetanja.

REQUIRED LANDING DISTANCE (METERS)									
WEIGHT (1000 KG)	46	50	54	58	62	66	70	74	78
CONF 3	1250	1300	1360	1430	1520	1670	1830	1990	2140
CONF FULL	1170	1220	1270	1330	1390	1510	1650	1800	1940

Slika 27. Prikaz tablice za očitavanje potrebne duljine za slijetanje u ovisnosti o kilaži zrakoplova [9]

Može se uvidjeti da će potrebna duljina za slijetanje pri ručnoj izvedbi slijetanja za zrakoplov mase 66.000 kg iznositi 1510m u potpunoj konfiguraciji za slijetanje.

Daljnje korekcije za ručnu izvedbu potrebne udaljenosti iznose [9]:

- Za leđni vjetar korekcija će iznositi povećanje od 19% za svakih 10 dodatnih čvorova
- Za čeoni vjetar nema korekcije zbog korigiranja pri prilaznoj brzini
- Za svakih 1000 ft nadmorske visine treba nadodati 3%
- I za promjenu centra gravitacije prema naprijed dodati 2%

Za primjer prikaza izračuna potrebne udaljenosti za slijetanje u ručnoj izvedbi pri navedenim uvjetima, proračun će bit sljedeći:

$$1510\text{m} + 0.06 \cdot 1510\text{m} = 1600,60\text{m}.$$

Automatsko slijetanje će imati jednake podatke za potrebne udaljenosti za slijetanje kao i korigirana potrebna duljina u ručnoj izvedbi osim u dvije situacije:

1. U slučaju slijetanja pri konfiguraciji 3 sa masom zrakoplova jednakom ili manjom od 65.000 kg, potrebna udaljenost za slijetanje će biti zbroj korigirane potrebne udaljenosti pri ručnom izdanju i 125 metara.
2. U slučaju slijetanja sa potpunom konfiguracijom za slijetanje sa masom zrakoplova od 65.000 ili manjom od te, potrebna udaljenost za slijetanje će biti zbroj korigirane potrebne udaljenosti pri ručnom slijetanje i 70 metara.

Nadovezavši se na već prikazan primjer prilikom ručnog slijetanja, potrebna udaljenost za slijetanje pri automatskom slijetanju bi bila jednaka toj istoj i iznosila bi 1600,60 metara.

## 7 ZAKLJUČAK

Performanse uzlijetanja i slijetanja s različitih stanja površine uzletno-sletnih staza daju drugačije rezultate dobivenih vrijednosti za potrebne udaljenosti operacija zrakoplova. Rezultati su vezani za brojčane vrijednosti udaljenosti koje zrakoplov smije iskoristiti odnosno ne smije prekoračiti. U profesionalnom odnosno stvarnom pristupu toj temi o uzlijetanjima i slijetanjima pristupa se vrlo ozbiljno i odgovorno. Zbog toga je tokom vremena proizašao niz zahtjeva koje su odgovorne institucije propisale za zrakoplove i aerodrome. Analizom raznih segmenata fazi leta došlo se do konačnih vrijednosti koje se moraju ispoštovati da se u prilog ide svim sudionicima zračnog prometa.

Analizom regulativa ustvrđeno je da se u različitim uvjetima zrakoplovi ponašaju drukčije i da ih je potrebno drukčije tretirati. Najbolji pokazatelji toga su i same vrijednosti duljina koje se dobivaju u ovisnosti o stanju na površini uzletno-sletne staze za različite vrste klasa performansi zrakoplova. Iz čega proizlazi zaključak da se vrlo ozbiljno pristupilo kritičnim fazama leta i da se struka pobrinula za sve moguće okolnosti. Uslijed ozbiljnog pristupa proizašla je regulativa za svaku klasu performansi zrakoplova i dobila zahtjeve kojih se mora pridržavati. Odnosno raspisane su informacije za operacije na tlu, koje se među ostalim fazama smatraju najkritičnije zbog najveće mogućnosti za bilo kakvu nesreću.



## LITERATURA

- [1] Franjković D. Performanse zrakoplova [Prezentacija]. Zrakoplovna prijevozna sredstva. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. Listopad 2021.
- [2] Europska unija. Uredba komisije (EU) 965/2012. Preuzeto s: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0965&from=HR> [pristupljeno 2.kolovoza 2022.].
- [3] EASA. Certification specifications and acceptable means of compliance for large aeroplanes. Preuzeto s: [https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/change\\_information\\_-\\_cs-25\\_amendment\\_27.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/change_information_-_cs-25_amendment_27.pdf) [Pristupljeno: 2.kolovoza 2022.].
- [4] EASA. Acceptable means of compliance and guidance material to annex IV-part-CAT. Preuzeto s: <https://www.easa.europa.eu/downloads/18231/en> [pristupljeno: 2.kolovoza 2022.].
- [5] USA. Pilot`s Operating Handbook Cessna Skyhawk 172N. Wichita: The Cessna Aircraft Company; 1977.
- [6] USA. Pilot`s Operating Handbook Cessna Skyhawk 172R. Wichita: The Cessna Aircraft Company; 1996.
- [7] Hrvatska kontrola zračne plovodbe d.o.o. eAIP Republic of Croatia. Velika Gorica: Crocontrol Ltd: 2022. Preuzeto s <https://www.crocontrol.hr/UserDocsImages/AIS%20produkti/eAIP/2022-08-11-AIRAC/html/index-en-HR.html> [pristupljeno 25.8.2022.]
- [8] France. Flight manual A320. Airbus industrie; 1995.
- [9] AIRBUS. Flight Crew Operating Manual. Flight preparation 2. Volume 2. Revision 38.
- [10] AIRBUS. Flight Crew Operating Manual. System description 1. Volume 1.

## POPIS SLIKA

<a href="#">Slika 1. Dostupne udaljenosti na aerodromu, [1]</a> .....	3
<a href="#">Slika 2. Prikaz podjele zrakoplova prema klasama,[1]</a> .....	8
<a href="#">Slika 3. Potrebna udaljenost za uzlijetanje u suhim uvjetima sa kvarom motora, [1]</a> .....	9
<a href="#">Slika 4. Potrebne udaljenosti za uzlijetanje u suhim uvjetima bez kvara motora, [1]</a> .....	10
<a href="#">Slika 5. Potrebna udaljenost za uzlijetanje u mokrim uvjetima uz kvar motora, [1]</a> .....	10
<a href="#">Slika 6. Potrebna udaljenost za uzlijetanje u mokrim uvjetima bez kvara motora, [1]</a> .....	11
<a href="#">Slika 7. Potrebna udaljenost za zalet u suhim uvjetima uz kvar motora, [1]</a> .....	11
<a href="#">Slika 8. Potrebna duljina za zalet u suhim uvjetima bez kvara motora, [1]</a> .....	12
<a href="#">Slika 9. Potrebna duljina za zalet u mokrim uvjetima uz kvar motora, [1]</a> .....	12
<a href="#">Slika 10. Potrebna duljina za zalet u mokrim uvjetima bez kvara motora, [1]</a> .....	13
<a href="#">Slika 11. Potrebna duljina za ubrzavanje i zaustavljanje u suhim uvjetima uz kvar motora, [1]</a> .....	14
<a href="#">Slika 12. Potrebna udaljenost za ubrzavanje i zaustavljanje u suhim uvjetima bez kvara motora, [1]</a>	14
<a href="#">Slika 13. Potrebna duljina za ubrzavanje i zaustavljanje u mokrim uvjetima uz kvar motora, [1]</a> .....	15
<a href="#">Slika 14. Potrebna duljina za ubrzavanje i zaustavljanje u mokrim uvjetima bez kvara motora, [1]</a> ...	16
<a href="#">Slika 15. Tablica za izračun potrebne udaljenosti za uzlijetanje Cessne 172N, [5]</a> .....	21
<a href="#">Slika 16. Tablica za izračun potrebne udaljenosti za slijetanje Cessna 172N, [5]</a> .....	23
<a href="#">Slika 17. Tablica podataka za korigiranje mase u ovisnosti o operativnosti obrnutog potiska i bez čistine na uzletno-sletnoj stazi, [9]</a> .....	27
<a href="#">Slika 18. Prikaz tablice za korekciju mase u ovisnosti o operativnosti obrnutog potiska uz postojanje čistine [9]</a> .....	27
<a href="#">Slika 19. Prikaz tablice za izračun maksimalne dopuštene mase u suhim uvjetima na stazi [9]</a> .....	28
<a href="#">Slika 20. Prikaz tablice za očitavanje maksimalne dopuštene mase u suhim uvjetima [9]</a> .....	29
<a href="#">Slika 21. Prikaz tablice za korekciju mase u ovisnosti o postojanju čistine za datu uzletno-sletnu stazu [9]</a> .....	29
<a href="#">Slika 22. Prikaz tablice za očitavanje konačne dostupne maksimalne mase i datih brzina [9]</a> .....	30
<a href="#">Slika 23. Prikaz tablice za očitavanje korigirane mase za datu duljinu za zalet u ovisnosti o postojanju čistine [9]</a> .....	31
<a href="#">Slika 24. Prikaz tablice za ispravno očitavanje konačne mase za polijetanje i povezanih brzina u uvjetima kontaminacije zbijenim snijegom na stazi [9]</a> .....	31
<a href="#">Slika 25. Prikaz tablice za ispravno očitavanje stvarne duljine za slijetanje [9]</a> .....	32
<a href="#">Slika 26. Prikaz tablice za ispravnu korekciju stvarne duljine za slijetanje zrakoplova [9]</a> .....	33
<a href="#">Slika 27. Prikaz tablice za očitavanje potrebne duljine za slijetanje u ovisnosti o kilaži zrakoplova [9]</a> .....	34

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI


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

isključivo rezultat mojega 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 Određivanje performansi uzlijetanja i slijetanja s kontaminirane uzletno-sletne staze, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 23.8.2022.

Josip Delić,   
(ime i prezime, potpis)