

# Analiza performansi aviona značajnih za rad kontrolora zračnog prometa

---

**Poljak, Dora**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:104142>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-29**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Dora Poljak**

**ANALIZA PERFORMANSI AVIONA  
ZNAČAJNIH ZA RAD KONTROLORA  
ZRAČNOG PROMETA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2021.**

Zagreb, 11. svibnja 2021.

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

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 6280

Pristupnik: **Dora Poljak (0135250594)**  
Studij: **Aeronautika**  
Smjer: **Kontrola leta**

Zadatak: **Analiza performansi aviona značajnih za rad kontrolora zračnog prometa**

### Opis zadatka:

Objasniti što su performanse aviona i zašto su značajne za rad kontrolora zračnog prometa.  
Navesti relevantne podjele aviona u klase i kategorije prema različitim kriterijima. Odabrati kontrolnu grupu zrakoplova koji su zastupljeni u vježbama na Simulatoru za radarsku kontrolu zračnog prometa u Laboratoriju za kontrolu zračne plovidbe Fakulteta prometnih znanosti. Odabrane zrakoplove raspodijeliti u odgovarajuće klase i kategorije te podjele popratiti grafičkim prikazom.  
Obraditi performanse odabrane grupe zrakoplova tijekom različitih faza operacije. Rezultate prikazati u odgovarajućim grafičkim prikazima. Komentirati značenje pojedinih podataka o performansama za rad kontrolora zračnog prometa.  
Napisati zaključke.

Mentor:



---

mr. sc. Davor Franjković, v. pred.

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**ZAVRŠNI RAD**

**ANALIZA PERFORMANSI AVIONA ZNAČAJNIH ZA  
RAD KONTROLORA ZRAČNOG PROMETA**

**ANALYSIS OF AIRCRAFT PERFORMANCE  
SIGNIFICANT FOR THE WORK OF AIR TRAFFIC  
CONTROLLERS**

Mentor: mr. sc. Davor Franjković

Student: Dora Poljak  
JMBAG: 0135250594

Zagreb, rujan 2021.

## SAŽETAK

Performanse zrakoplova predstavljaju sposobnosti, odnosno mogućnosti zrakoplova u smislu ostvarivanja određenih karakteristika izvedbe leta tijekom različitim fazama leta te u različitim uvjetima. Performanse zrakoplova ovise o brojnim čimbenicima, a razumijevanje utjecaja pojedinog čimbenika na performanse zrakoplova izuzetno je važno. Prije svega, navedeno se odnosi na pilote koji moraju poznavati i specifične performanse zrakoplova kojim upravljaju. Međutim, od izrazite je važnosti da i kontrolori zračnog prometa budu upoznati sa performansama zrakoplova kako bi ih mogli uzeti u obzir pri nadziranju i kontroliranju prometne situacije te prilikom izdavanja instrukcija.

Cilj ovog rada je istaknuti značaj performansi za rad kontrolora zračnog prometa. Rad se bavi analitičkom i statističkom obradom performansi u različitim fazama leta, a za kontrolnu skupinu uzeta je skupina aviona koji su zastupljeni u simulatorskim vježbama u Laboratoriju za kontrolu zračne plovidbe Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu.

**KLJUČNE RIJEČI:** performanse zrakoplova; kontrola zračnog prometa; analiza; sigurnost

## **SUMMARY**

Aircraft performance represents the capabilities or possibilities of the aircraft in terms of achieving certain characteristics of flight during different stages of flight and in different conditions. Aircraft performance depends on a number of factors, and understanding the impact of each individual factor on aircraft performance is extremely important. First of all, this applies to pilots who must also know the specific performance of the aircraft they operate. However, it is important that air traffic controllers are also familiar with aircraft performance so that they can be taken into consideration when monitoring and controlling traffic situations and while issuing instructions.

The aim of this paper is to highlight the importance of performance for the work of air traffic controllers. The paper is dealing with analytical and statistical analysis of aircraft performance in different stages of flight. For the control group it was taken a group of aircraft represented in simulation exercises in the Laboratory for Control of Air Navigation of the Faculty of Transport and Traffic Sciences, University of Zagreb.

**KEY WORDS:** aircraft performance; air traffic control; analysis; safety

# SADRŽAJ

1. Uvod .....	1
2. Podjela aviona u klase i kategorije .....	2
2.1. Podjela prema klasi performansi aviona.....	2
2.2. Podjela prema pogonskom sustavu.....	4
2.3. Podjela prema vrtložnoj turbulenciji .....	7
2.3.1. Osnovna podjela prema vrtložnoj turbulenciji .....	8
2.3.2. Prekategorizacija .....	10
2.4. Podjela prema kategoriji prilaza .....	12
3. Performanse aviona pri uzlijetanju.....	14
3.1. Sile pri uzlijetanju.....	15
3.2. Potrebne i raspoložive duljine pri uzlijetanju .....	16
3.3. Analiza performansi aviona pri uzlijetanju.....	18
3.3.1. Analiza utjecaja mase aviona na TODR.....	18
3.3.2. Analiza utjecaja pogonskog sustava aviona na TODR .....	22
4. Performanse aviona pri penjanju.....	24
4.1. Sile pri penjanju.....	24
4.2. Gradijent penjanja.....	25
4.3. Brzina uzdizanja .....	25
4.4. Vrhunac leta.....	26
4.5. Analiza performansi aviona pri penjanju.....	27
5. Performanse aviona pri krstarenju.....	30
5.1. Sile pri krstarenju.....	30
5.2. Brzina krstarenja.....	30
5.3. Dolet .....	31

5.4.	Istrajnost .....	31
5.5.	Analiza performansi aviona pri krstarenju .....	32
5.5.1.	Analiza utjecaja pogonskog sustava aviona na dolet .....	32
5.5.2.	Analiza utjecaja pogonskog sustava aviona na brzinu krstarenja .....	35
6.	Performanse aviona pri spuštanju.....	38
6.1.	Sile pri spuštanju .....	38
6.2.	Brzina snižavanja.....	39
7.	Performanse aviona pri slijetanju.....	40
7.1.	Sile pri slijetanju.....	41
7.2.	Potrebna i raspoloživa duljina za slijetanje .....	41
7.3.	Analiza performansi aviona pri slijetanju.....	41
7.3.1.	Analiza odnosa mase aviona i kategorija prilaza .....	42
7.3.2.	Analiza utjecaja kategorija prilaza aviona na LDR.....	43
8.	Zaključak.....	46
	Literatura .....	47
	Popis grafikona.....	50
	Popis tablica .....	51
	Popis slika .....	51
	Prilog 1. Popis aviona kontrolne skupine.....	52
	Prilog 2. Podjela aviona kontrolne skupine u kategorije.....	53



## 1. Uvod

Sposobnosti, odnosno mogućnosti zrakoplova u smislu ostvarivanja određenih karakteristika izvedbe leta u različitim fazama leta te u različitim uvjetima nazivaju se performanse zrakoplova. Rezultat su brojnih čimbenika kao što su: dizajn zrakoplova, odnosno aerodinamičke i strukturalne karakteristike, pogonski sustav zrakoplova, meteorološki uvjeti i brojni drugi čimbenici. Izrazito je važno obratiti veliku pažnju na performanse od samog dizajniranja zrakoplova preko testiranja i certificiranja do korištenja istog, odnosno upravljanja zrakoplovom. Performanse pojedinog zrakoplova utvrđuje i analizira proizvođač zrakoplova te ih daje u obliku priručnika, a iste moraju zadovoljavati zahtjeve vezane uz certificiranje i eksploataciju koji su propisani nacionalnom i međunarodnom regulativom.

U ovom radu cilj je objasniti što su performanse zrakoplova te ih ukratko opisati u različitim fazama leta. Također, cilj rada je promatrati te opisati i aspekt značaja performansi za rad kontrolora zračnog prometa. Za kontrolnu skupinu u ovom radu odabrani su avioni koji su zastupljeni u simulatorskim vježbama u Laboratoriju za kontrolu zračne plovidbe Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. U radu su navedene relevantne podjele u klase i kategorije prema različitim kriterijima te raspodjela kontrolne skupine u iste. Podjele i performanse u različitim fazama leta popraćene su grafičkim prikazima.

Rad je podijeljen u osam poglavlja:

1. Uvod
2. Podjela aviona u klase i kategorije
3. Performanse aviona pri uzlijetanju
4. Performanse aviona pri penjanju
5. Performanse aviona pri krstarenju
6. Performanse aviona pri spuštanju
7. Performanse aviona pri slijetanju
8. Zaključak.

U drugom poglavlju napravljene su podjele aviona kontrolne skupine u klase i kategorije. Podjele su temeljene na različitim kriterijima i karakteristikama, a podatci, odnosno kategorije i klase prikazane i objašnjene u ovom poglavlju korištene su u daljnjim poglavljima rada prilikom prezentiranja i obrađivanja podataka.

Performanse zrakoplova u različitim fazama leta navedene su te ukratko opisane u narednih pet poglavlja. Treće poglavlje vezano je uz uzlijetanje, četvrto uz penjanje, peto uz krstarenje, šesto uz spuštanje, a sedmo poglavlje vezano je uz slijetanje. U svakom od navedenih poglavlja analizirane su performanse aviona koji čine kontrolnu skupinu.

U osmom, zaključnom poglavlju rada ponovno su navedene najznačajnije performanse zrakoplova te je dan komentar u smislu važnosti istih za rad kontrolora zračnog prometa.

## 2. Podjela aviona u klase i kategorije

Kao što je već navedeno, za kontrolnu skupinu u ovom radu odabrani su avioni koji su zastupljeni u simulatorskim vježbama u Laboratoriju za kontrolu zračne plovidbe Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu (u daljnjem tekstu: kontrolna skupina). Popis istih nalazi se u Prilogu 1.

Potrebno je napomenuti kako se u radu često koriste pojmovi zrakoplov i avion. Prema Zakonu o zračnom prometu zrakoplov je „svaka naprava koja se održava u atmosferi zbog reakcije zraka, osim reakcije zraka u odnosu na Zemljinu površinu”, a avion je „zrakoplov teži od zraka, pokretan motorom, koji uzgon u letu dobiva poglavito zbog aerodinamičkih reakcija na površinama koje u određenim uvjetima leta ostaju nepokretne” [1]. Prilikom obrade performansi, opisa podjela te njihovih kriterija koji su propisani za zrakoplove, korišten je pojam zrakoplov te se samim time isto odnosi i na avione kao podskupinu zrakoplova. Kada je riječ o podjelama i opisima performansi koji se ne odnose na zrakoplove, već samo na avione, korišten je pojam avion. Također, kada je riječ o kontrolnoj skupini korišten je pojam avion jer svih 42 zrakoplova koji čine kontrolnu skupinu karakteristikama odgovara definiciji aviona te ih je opravdano tako nazivati. Potrebno je istaknuti da kada se koristi pojam avion, isto vrijedi i za amfibijske zrakoplove (engl. *amphibious aircraft*), uz napomenu da u poglavljima vezanim uz uzlijetanje i slijetanje navedeno vrijedi isključivo za uzlijetanje i slijetanje amfibijskih zrakoplova sa tla, odnosno čvrste površine.

U ovom poglavlju navedene su relevantne podjele kontrolne skupine koje su korištene u daljnjem tekstu, odnosno u narednim poglavljima. Pripadnost pojedinog aviona kontrole skupine po navedenim kriterijima nalazi se u Prilogu 2.

### 2.1. Podjela prema klasi performansi aviona

Kad je riječ o klasama performansi aviona, razlikuju se tri klase performansi: A, B i C. Pripadnost aviona određenoj klasi performansi određuje operativne zahtjeve za avion. Operativni zahtjevi izrazito su bitni, ali su mnogobrojni te nisu predmet bavljenja ovog rada pa isti nisu navedeni u ovom radu, [2], [3].

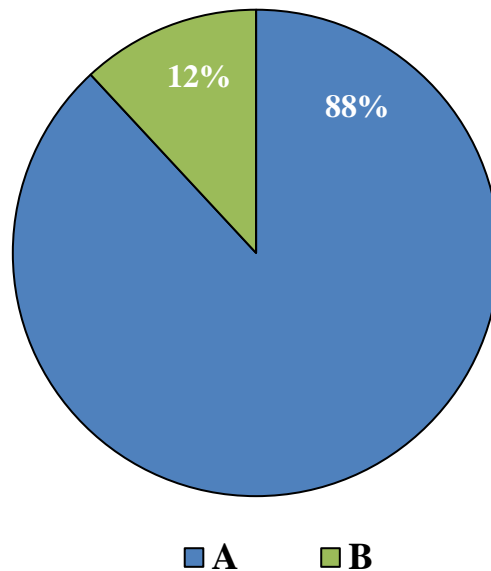
U Tablici 1 prikazani su kriteriji temeljem kojih se avioni svrstavaju u klase performansi, a odnose se na broj putničkih sjedala aviona te najveću masu pri uzlijetanju (oznaka MTOM od engl. *Maximum Take-Off Mass*), [2], [3].

**Tablica 1.** Kriteriji za podjelu aviona u klase performansi

	Višemotorni mlazni avioni	Avioni pogonjeni propelerom	
		Višemotorni elisno-mlazni avioni	Avioni sa klipnim motorom/motorima
MTOM > 5700kg ili broj putničkih sjedala > 9	A	A	C
MTOM ≤ 5700kg i broj putničkih sjedala ≤ 9	A	B	B

Izvor: [2], [3]

S obzirom na kriterije navedene u Tablici 1, u Grafikonu 1 prikazan je udio klase performansi aviona unutar kontrolne skupine uz napomenu da su vrijednosti zaokružene na cijele brojeve radi jednostavnijeg prikaza i analize podataka.



**Grafikon 1.** Podjela kontrolne skupine u klase performansi aviona

Izvor: [2], [4]

Iz Grafikona 1 može se uočiti da 88% (37 aviona) kontrolne skupine pripada klasi performansi A, dok njih 12% (5 aviona) pripada klasi performansi B. U kontrolnoj skupini nema niti jedan avion klase performansi C, [2], [4].

Kako je već spomenuto, pripadnost određenoj klasi performansi određuje operativne zahtjeve. Bitno je naglasiti kako je potrebno da performanse omogućuju ispunjavanje svih operativnih zahtjeva.

Uz operativne zahtjeve, svaki zrakoplov ima i određene zahtjeve za certificiranje. Zahtjevi za certificiranje zrakoplova u državama članicama Europske unije te Islandu, Lihtenštajnu, Norveškoj i Švicarskoj propisani su od strane Europske agencije za sigurnost zračnog prometa (kratica EASA od engl. *European Union Aviation Safety Agency*) [5]. Zahtjevi za certificiranje zrakoplova koje je propisala EASA često se označavaju kraticom CS (od engl. *Certification Specifications*). CS-ovima su prethodili Zajednički zrakoplovni propisi (kratica JAR od engl. *Joint Aviation Requirements*) koji su propisani od strane Zajedničkih zrakoplovnih vlasti (kratica JAA od engl. *Joint Aviation Authorities*), a u Sjedinjenim Američkim Državama Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo (kratica FAA od engl. *Federal Aviation Administration*) definira Savezne zrakoplovne propise (kratica FAR od engl. *Federal Aviation Regulations*) [3].

Za jednostavnije razumijevanje podjele u klase performansi aviona A i B, odnosno klasi performansi koje su zastupljene u kontrolnoj skupini, značajno je za uočiti činjenicu da se podjela aviona u pojedinu klasu performansi gotovo podudara sa skupinom aviona koji imaju zajedničke zahtjeve za certificiranje. Klasi performansi A gotovo u potpunosti odgovara skupina aviona čiji su zahtjevi za certificiranje propisani u CS-25, a isto vrijedi i za klasu B te CS-23. CS-23 propisuje zahtjeve za certificiranje za „*Normal, Utility, Aerobatic and Commuter Aeroplanes*”, a CS-25 za „*Large Aeroplanes*” [6]. Razlika između klasi performansi A i B te skupina čiji su zahtjevi propisani u CS-23 i CS-25 su *commuter* avioni. *Commuter* avioni uglavnom pripadaju klasi performansi A, no zahtjevi za njihovo certificiranje propisani su u CS-23.

Dakle, uz spomenutu iznimku koju predstavljaju *commuter* avioni, može se izvesti zaključak kako klasu performansi aviona A čine veliki avioni koji se koriste za transport, dok klasa performansi aviona B predstavlja opće zrakoplovstvo (engl. *general aviation*).

## **2.2. Podjela prema pogonskom sustavu**

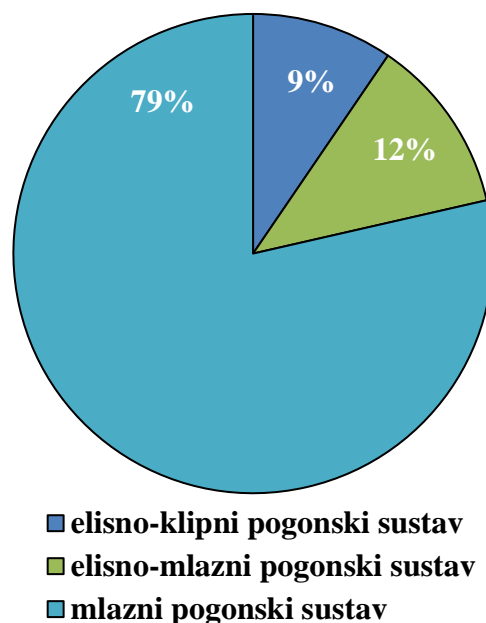
Pogonski sustav zasigurno je jedan od najvažnijih sustava zrakoplova. Korištenjem pogonskog sustava zrakoplov ostvaruje pogonsku silu, odnosno potisak koji suprotstavljajući se otporu omogućava gibanje zrakoplova. Prvenstveno se razlikuju elisno-klipni i mlazni pogonski

sustavi, a u ovom radu spominje se i kombinirani elisno-mlazni pogonski sustav. Vrlo važan dio pogonskog sustava svakako je jedan ili više motora [3].

Dakle, pogonski je sustav izuzetno važan za performanse jer ih zapravo omogućuje. Zrakoplovi pogonskim sustavom ostvaruju gibanje koje je prema samoj definiciji nužno za ostvarivanje ikakvih performansi. Može se zaključiti kako pogonski sustav, uz klasu performansi aviona, predstavlja jednu od najvažnijih značajki prilikom razmatranja performansi aviona.

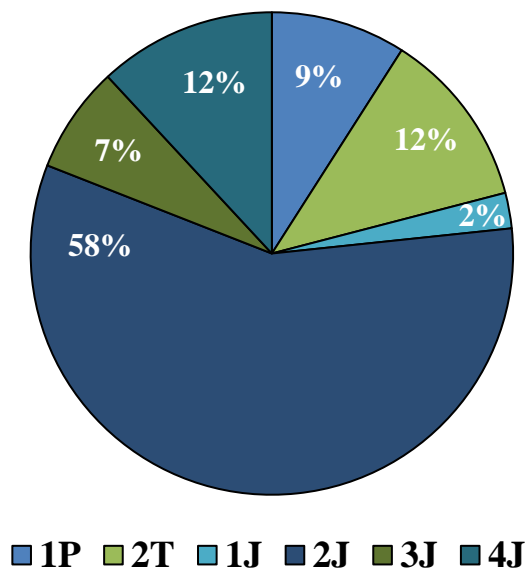
Grafikoni 2 i 3 prikazuju podjelu kontrolne skupine s obzirom na pogonski sustav. Grafikon 2 prikazuje osnovnu podjela kontrolne skupine prema pogonskom sustavu, dok je u Grafikonu 3 prikazana detaljnija podjela gdje se u obzir uzima i broj motora. U Grafikonu 3 korištene su oznake uobičajene pri opisivanju ove tematike. Svaku oznaku čini brojka koja označava broj motora te pridruženo slovo koje označava vrstu pogonskoga sustava. J označava mlazni (od engl. *Jet*), P elisno-klipni (od engl. *Piston*), a T elisno-mlazni pogonski sustav (od engl. *Turboprop*) [4].

Dakle, grafikoni prikazuje postotne raspodjele kontrolne skupine, a potrebno je napomenuti da su vrijednosti zaokružene na cijele brojeve radi jednostavnijeg prikaza i analize podataka.



**Grafikon 2.** Podjela kontrolne skupine prema vrsti pogonskog sustava

Izvor: [4]



**Grafikon 3.** Podjela kontrolne skupine prema vrsti pogonskog sustava i broju motora

Izvor: [4]

Iz Grafikona 2 vidljivo je da od ukupno 42 aviona koji čine kontrolnu skupinu 9% (4 aviona) koristi elisno-klipni pogonski sustav, 12% (5 aviona) elisno-mlazni, a 79% (33 aviona) mlazni pogonski sustav. U Grafikonu 3 prikazana je detaljnija podjela kontrolne skupine prema pogonskoj skupini gdje se u obzir uzima vrsta, ali i broj motora. Broj motora izrazito je značajan podatak te svakako izravno utječe na performanse aviona, a također određuje i operativne zahtjeve. Primjerice, u klasi performansi B razlikuju se operativni zahtjevi za jednomotorne i višemotorne avione. Iz grafikona je vidljivo kako svi avioni koji koriste klipne motore imaju po jedan motor. Takvih aviona u kontrolnoj skupini je 9% (4 aviona). Osvrćući se na podjelu aviona u klase performansi aviona, može se istaknuti kako svi jednomotorni klipni avioni kontrolne skupine pripadaju klasi B. Iz grafikona je dalje vidljivo kako svi avioni kontrolne skupine koji imaju elisno-mlazne motore imaju po dva motora, a čine 12% kontrolne skupine (5 aviona). Od navedenih, jedan avion kontrolne skupine pripada klasi performansi aviona B, dok ostali pripadaju klasi A. Dalje je iz grafikona vidljivo kako avioni kontrolne skupine koji imaju mlazne motore imaju od jednog do četiri motora, a svi pripadaju klasi performansi A. Jedan mlazni motor ima 2% (1 avion), 3 mlazna motora ima 7% (3 aviona), a 4 mlazna motora 12% (5 aviona) kontrolne skupine. Uvjerljivo najveći postotak kontrolne skupine, 58% (24 aviona), ima 2 mlazna motora [4].

### 2.3. Podjela prema vrtložnoj turbulenciji

Turbulencija općenito podrazumijeva nepravilno, odnosno poremećeno gibanje fluida, no u skladu sa tematikom rada, u daljnjem tekstu riječ je isključivo o turbulencijama u zraku. Razlikuje se nekoliko vrsta turbulencija koje nastaju u zraku: orogenetska turbulencija, turbulencija u oblacima, turbulencija vedrog vremena (kratica CAT od engl. *Clear Air Turbulence*) te turbulencije koje generiraju zrakoplovi. Orogenetska turbulencija predstavlja nepravilno strujanje zraka nastalo prelaskom struje zraka preko te oko reljefnih oblika kao što su planine i ostala uzvišenja. Turbulencija u oblacima prisutna je prvenstveno u oblacima koji se nazivaju kumulonimbus, a CAT je povezan sa mlaznom strujom, odnosno smicanjem vjetra. Turbulencija koju generiraju zrakoplovi često se naziva vrtložna turbulencija (engl. *wake turbulence*) te predstavlja nepravilno vrtložno gibanje zraka. Vrtložna turbulencija, odnosno vrtložni trag nastaje poremećajem struje zraka primarno na krilima, ali i ostalim površinama zrakoplova uslijed ostvarivanja uzgona. Svaki zrakoplov generira vrtložni trag, no razlikuju se intenzitet i postojanost. Intenzitet i postojanost ovise o raznim čimbenicima kao što su: masa zrakoplova, oblik i raspon krila zrakoplova, brzina leta i atmosferski uvjeti, [7], [8].

Turbulencije nepovoljno djeluju na let zrakoplova što se najznačajnije očituje kroz: promjenu visine i brzine leta u smislu snižavanja visine te smanjenja brzine, inducirano skretanje i valjanje (engl. *induced yaw and roll*) te moguća strukturalna preopterećenja, [9], [10]. Navedeni učinci turbulencije na let zrakoplova bili su uzrok brojnih zrakoplovnih nezgoda i nesreća. Radi navedenoga, tijekom leta potrebno je izbjegavati turbulencije. Orogenetska turbulencija izbjegava se nadvisivanjem područja gdje je vjerojatno da se ista pojavi, a turbulenciju u oblacima izbjegava se izbjegavanjem olujnih oblaka, kumulonimbusa. CAT je vrlo opasan, ali se razvojem znanosti i zrakoplovne industrije pokušava što je moguće više objasniti te predvidjeti. Također, piloti zrakoplova koji su naišli na CAT javljaju tu informaciju ostalima.

Od svih navedenih vrsta turbulencija, za tematiku ovoga rada najznačajnija je vrtložna turbulencija te je u daljnjem tekstu riječ isključivo o toj vrsti turbulencije. Izrazito je važno voditi računa o vrtložnoj turbulenciji tijekom uzlijetanja i početnog penjanja te završnog prilaza i slijetanja zrakoplova kada su zrakoplovi u takozvanim osjetljivim fazama leta. Zbog relativno malih visina i brzina, ulijetanje zrakoplova u vrtložni trag drugog zrakoplova tijekom navedenih faza leta može uzrokovati katastrofalne posljedice, odnosno rezultirati nezgodama i nesrećama.

### 2.3.1. Osnovna podjela prema vrtložnoj turbulenciji

Iako se teži tome da zračni promet bude učinkovit, redovit i ubrzan, njegova osnovna značajka je sigurnost. Od te značajke nikako ne treba odstupati, a sav razvoj zračne industrije ne smije narušavati zadovoljavajuću razinu sigurnosti ili za cilj ima upravo dostizanje zadovoljavajuće razine sigurnosti. Upravo su brojne nezgode i nesreće uzrokovane uletom zrakoplova u područje vrtložnog traga drugog zrakoplova dovele do naglašavanja potrebe sprječavanja daljnjeg događanja istih.

S obzirom na to da su intenzitet i postojanost vrtloga proporcionalni masi zrakoplova, rješavanju problema pristupilo se svrstavanjem zrakoplova u skupine prema MTOM-u te definiranjem određenih zahtjeva razdvajanja s obzirom na spomenute skupine, odnosno kategorije.

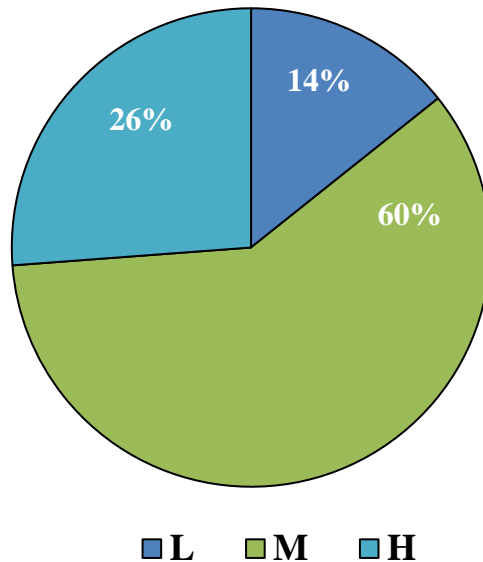
U početku su definirane tri kategorije zrakoplova s obzirom na vrtložnu turbulenciju: *Light* (oznaka L), *Medium* (oznaka M) i *Heavy* (oznaka H). Kao što je navedeno, kriterij za podjelu je MTOM [10]. U Tablici 2 prikazani su kriteriji navedene podjele, a nakon toga, u Grafikonu 4, prikazan je udio kategorija u kontrolnoj skupini uz napomenu da su vrijednosti zaokružene na cijele brojeve radi jednostavnijeg prikaza i analize podataka.

**Tablica 2.** Kriteriji za podjelu zrakoplova prema vrtložnoj turbulenciji

Kategorija prema vrtložnoj turbulenciji	MTOM
L	$MTOM \leq 7000 \text{ kg}$
M	$7000 \text{ kg} < MTOM < 136000 \text{ kg}$
H	$136000 \text{ kg} \leq MTOM$

Izvor: [10]





**Grafikon 4.** Podjela kontrolne skupine u kategorije prema vrtložnoj turbulenciji

Izvor: [4], [10]

Iz Grafikona 4 vidljivo je da kategoriji *Light* pripada 14% kontrolne skupine (6 aviona). Kategoriji *Medium* pripada najviše aviona kontrolne skupine, 60% (25 aviona), a kategoriji *Heavy* pripada 26% (11 aviona), [4], [10].

Razvijanjem zrakoplovne industrije te rastom prometne potražnje, u promet su se uvodili zrakoplovi sve većih dimenzija koji su imali sve više putničkih sjedala te su imali mogućnost ostvarivanja sve većeg doleta. Takvi su zrakoplovi imali i sve veće MTOM-e. Slijedom navedenoga, kategorija *Heavy* postajala je sve brojnija i sve većeg raspona masa. Od ostalih zrakoplova, svojim MTOM-om poprilično se istaknuo avion Airbus A380. Naime, spomenuta iznosi 560000 kg. Kako je odnos poremećaja struje zraka proporcionalan masi zrakoplova, u podjelu prema vrtložnoj turbulenciji uvedena je dodatna kategorija. Kategorija se naziva *Super Heavy* (oznaka J), a zasad joj pripada jedino spomenuti Airbus A380, [4], [11].

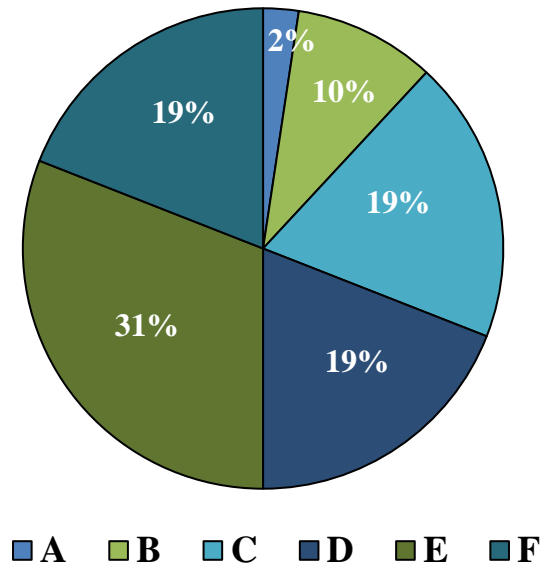
Zaključno treba istaknuti kako je podjela prema kategorijama vrtložne turbulencije značajna za kontrolore zračnog prometa jer ista određuje zahtjeve razdvajanja. Zahtjevi se razlikuju ovisno o tome koristi li se pri kontroli zračnog prometa radar, odnosno radarski prikaznik ili ne. Ukoliko se radarski prikaznik koristi, to je radarska kontrola zračnog prometa, a zahtjevi razdvajanja iskazani su u smislu udaljenosti, točnije u nautičkim miljama. U suprotnom slučaju, kada se radarski prikaznik ne koristi, to je proceduralna kontrola zračnog prometa, a zahtjevi razdvajanja iskazani su u smislu vremena, točnije u minutama.

### 2.3.2. Prekategorizacija

Razvojem zrakoplovne industrije došlo je do značajnog rasta zračnog prometa te se javlja problem u odnosu prometne ponude i potražnje. Kapacitet zračnog prostora postao je jedan od ograničavajućih čimbenika daljnjeg rasta zračnog prometa. Povećanje kapaciteta, a time i optimizaciju prometne ponude i potražnje, među ostalim je ograničavala i prvotna podjela prema vrtložnoj turbulenciji. Zbog navedenoga, Europska organizacija za sigurnost zračne plovidbe (kratica EUROCONTROL, engl. *European Organisation for the Safety of Air Navigation*) i FAA surađivali su u brojnim istraživanjima te zaključili kako je moguće sigurno smanjivanje zahtjeva razdvajanja i to u smislu optimizacije operacija na aerodromima, odnosno prvenstveno povećanja protočnosti uzletno-sletne staze, ali i u prilazu na slijetanje te penjanju nakon uzlijetanja čime se izravno povećava kapacitet, [12], [13].

Za razliku od prvotne podjele, prekategorizacija kao kriterij podjele ne uzima samo MTOM, nego i raspon krila te brzinu jer je istraženo da i navedeni kriteriji utječu na karakteristike vrtložnog traga kojeg generiraju zrakoplovi. Tako se dotadašnje tri, odnosno četiri kategorije zamjenjuju sa šest kategorija koje se označavaju slovima: A, B, C, D, E i F. Kategorija A naziva se *Super Heavy*, kategorija B *Upper Heavy*, kategorija C *Lower Heavy*, kategorija D *Upper Medium*, kategorija E *Lower Medium*, a kategorija F *Light* [14].

Udio pojedine kategorije unutar kontrolne skupine prikazan je u Grafikonu 5, a potrebno je napomenuti da su vrijednosti zaokružene na cijele brojeve radi jednostavnijeg prikaza i analize podataka.



**Grafikon 5.** Podjela kontrolne skupine prema prekategorizaciji

Izvor: [4], [14]

Iz Grafikona 5 vidljivo je da 2% kontrolne skupine pripada kategoriji A (1 avion). Kategoriji B pripada 10% (4 aviona), kategorijama C, D i F po 19% (8 aviona), a najviše aviona kontrolne skupine pripada u kategoriju E, 31% (13 aviona), [4], [14].

Usporedbom podjela kontrolne skupine prema vrtložnoj turbulenciji, odnosno usporedbom osnovne podjele i prekategorizacije, mogu se uočiti sljedeći odnosi. Osnovna podjela u kontrolnoj skupini 14% aviona svrstava u *Light* kategoriju, dok prekategorizacija u istu (kategoriju F) svrstava 19% aviona kontrolne skupine. Prema osnovnoj podjeli 60% kontrolne skupine pripada *Medium* kategoriji, dok prekategorizacija istu dijeli u dvije kategorije (kategorije D i F) u koje zajedno svrstava 50% kontrolne skupine. Kategoriji *Heavy* prema osnovnoj podjeli pripada 26% kontrolne skupine, a prekategorizacija navedenu dijeli na tri kategorije (kategorije A, B i C) koje ukupno obuhvaćaju 31% kontrolne skupine. Iz navedenoga se može uočiti kako je, na primjeru kontrolne skupine, na podjelu utjecala činjenica da su, uz MTOM, u obzir uzeti i utjecaj raspona krila i brzine. Dakle, određeni zrakoplovi su raspoređeni u drugu kategoriju, a među zrakoplovima u kategorijama *Medium* i *Heavy* napravljena je dodatna potpodjela, [4], [10], [14].

U Sjedinjenim Američkim Državama prekategorizacija se naziva *Wake RECAT* ili *Wake Turbulence Recategorization*, a najprije je implementirana u Međunarodnoj zračnoj luci

Memphis (*Memphis International Airport*) krajem 2012. godine. Nakon brojnih pozitivnih rezultata primjene uslijedila je daljnja implementacija [12].

U Europi je EUROCONTROL 2015. godine definirao prekategorizaciju češće nazivanu RECAT-EU (od engl. *European wake vortex recategorisation*). RECAT-EU najprije je implementirana u Zračnoj luci Charles de Gaulle (*Paris Charles de Gaulle Airport*) krajem 2015. godine, [14], [15].

Može se zaključiti kako je ova podjela zrakoplova značajna za kontrolore zračnog prometa jer određuje zahtjeve razdvajanja zrakoplova, a pritom omogućuje i sigurno povećanje kapaciteta zračnog prometa u odnosu na osnovnu podjelu.

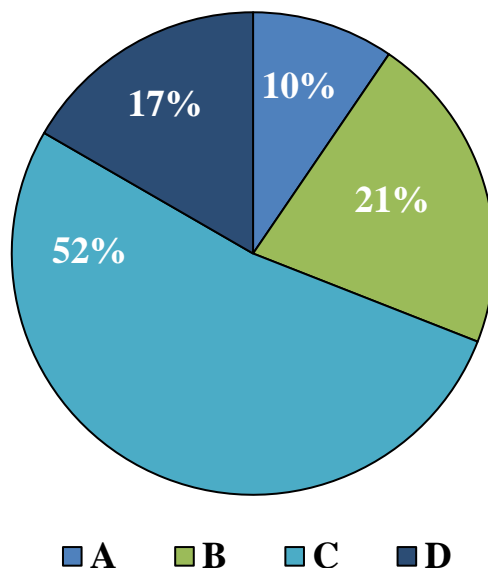
#### 2.4. Podjela prema kategoriji prilaza

Kategorije prilaza definirane su prema brzini kojom zrakoplov prelijeće preko praga uzletno-sletne staze prilikom slijetanja (oznaka  $V_{at}$  od engl. *Speed at threshold*). Za  $V_{at}$  se u literaturi često koristi i oznaka  $V_{ref}$  (od engl. *Reference landing speed*) [3]. U Tablici 3 prikazane su definirane granice između kategorija prilaza, a u Grafikonu 6 prikazan je udio kontrolne skupine prema kategorijama prilaza uz napomenu da su vrijednosti zaokružene na cijele brojeve radi jednostavnijeg prikaza i analize podataka.

**Tablica 3.** Kriteriji podjele zrakoplova u kategorije prilaza

Kategorija prilaza	$V_{at}$
A	$V_{at} < 91 \text{ kt}$
B	$91 \text{ kt} \leq V_{at} < 121 \text{ kt}$
C	$121 \text{ kt} \leq V_{at} < 141 \text{ kt}$
D	$141 \text{ kt} \leq V_{at} < 166 \text{ kt}$
E	$166 \text{ kt} \leq V_{at} < 211 \text{ kt}$

Izvor: [16], [17]



**Grafikon 6.** Podjela kontrolne skupine u kategorije prilaza

Izvor: [4], [16], [17]

Iz Grafikona 6 vidljivo je da A kategoriji prilaza pripada 10% kontrolne skupine (4 aviona), a kategoriji B pripada 21% (9 aviona). Najviše aviona kontrolne skupine pripada u kategoriju C, 52% (22 aviona). Preostalih 17% kontrolne skupine (7 aviona) pripada u kategoriju D, dok kategoriji E, koja označuje najveće brzine prilaza, ne pripada niti jedan od aviona kontrolne skupine, [4], [16], [17].

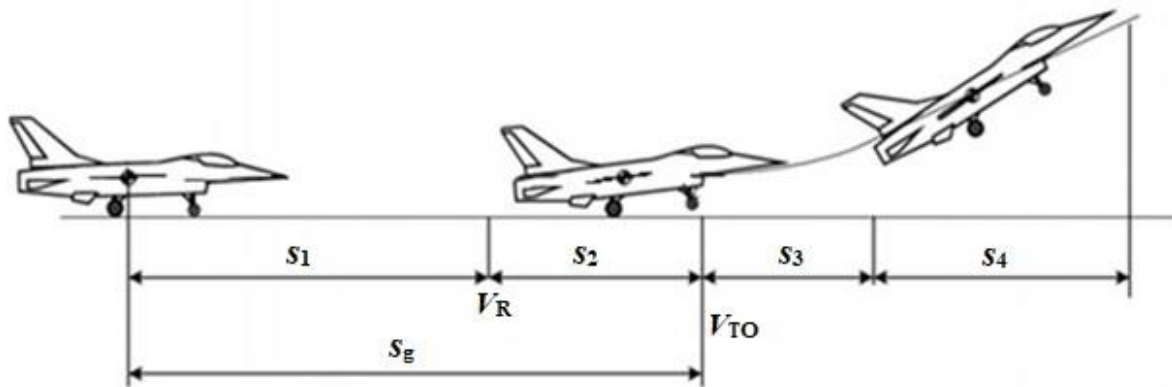
Treba napomenuti kako se, uz kategorije navedene u Tablici 3, razlikuje i kategorija H koja je propisana za helikoptere, no kako u kontrolnoj skupini nema helikoptera, ista se u radu dalje ne spominje [16].

Za kontrolore zračnog prometa ova podjela je značajna iz razloga što je brzinu zrakoplova u prilazu potrebno uzeti u razmatranje prilikom stvaranja redoslijeda za slijetanje. Primjerice, ukoliko su u prilazu za slijetanje dva zrakoplova, nužno je da slijedni zrakoplov ima manju brzinu od vodećeg zrakoplova ili da je njegova brzina tolika da, s obzirom na brzinu vodećeg zrakoplova i udaljenost među njima, neće doći do narušavanja zahtijevanog razdvajanja. Dakle, navedeno je nužno kako bi se u prilazu, kao i u ostalim fazama leta zrakoplova, osiguralo sigurno odvijanje zračnog prometa. Također, značajno je za navesti kako su kategorije prilaza povezane sa procedurama prilaza gdje su propisani razni zahtjevi za zrakoplove u prilazu.

### 3. Performanse aviona pri uzlijetanju

Uzlijetanje ili polijetanje (engl. *take-off*) predstavlja prvu fazu letnih operacija zrakoplova. Uzlijetanje se definira kao faza leta koja započinje u trenutku otpuštanja kočnica i traje do trenutka kada zrakoplov dosegne propisanu visinu. Ta visina propisana je s obzirom na klasu performansi kojoj zrakoplov pripada. Za klase performansi aviona kojima pripadaju avioni kontrolne skupine propisane su sljedeće visine: 35 ft za klasu A i 50 ft za klasu B, [18], [19].

Uzlijetanje aviona može se razmatrati kroz četiri faze prikazane na Slici 1.



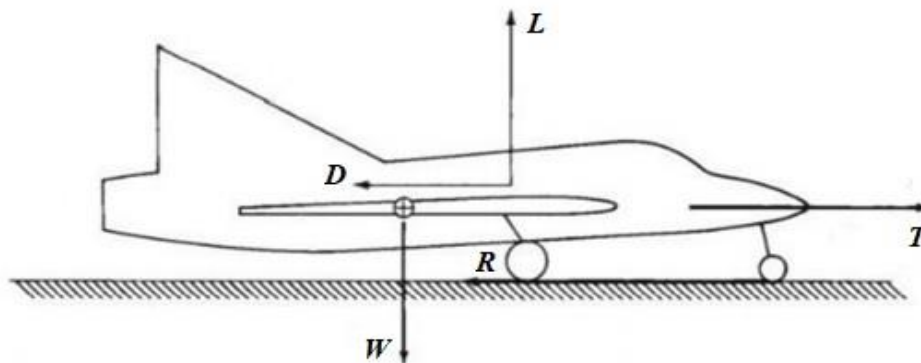
Slika 1. Faze uzlijetanja aviona, [20]

Slika 1 prikazuje faze uzlijetanja aviona. Prva faza uzlijetanja aviona naziva se zalijetanje, a predstavlja dio operacije uzlijetanja od trenutka otpuštanja kočnica kada avion započinje gibanje u cilju zaleta za uzlijetanje do postizanja brzine rotacije (oznaka  $V_R$  od engl. *Rotation speed*). Udaljenost koju avion prijeđe tijekom zalijetanja označena je oznakom  $s_1$ . Nakon zalijetanja slijedi druga faza uzlijetanja koja se naziva propinjanje. Propinjanje predstavlja dio operacije uzlijetanja od trenutka postizanja  $V_R$  do trenutka postizanja brzine pri kojoj se avion odvajaju od tla, odnosno površine uzletno-sletne staze (oznaka  $V_{TO}$  od engl. *Take-Off speed*). Za  $V_{TO}$  u literaturi se često koristi i oznaka  $V_{LOF}$  (od engl. *Lift-Off speed*). Udaljenost koju avion prijeđe tijekom faze propinjanja označena je oznakom  $s_2$ , a udaljenost koju avion prijeđe tijekom zalijetanja i propinjanja zajedno, odnosno do odvajanja od tla, označena je oznakom  $s_g$  (od engl. *Ground distance*). Kada avion pri uzlijetanju postigne  $V_{TO}$ , započinje treća faza uzlijetanja koja se naziva vertikalni zaokret. Kako sam naziv indicira, tijekom treće faze uzlijetanja avion izvodi vertikalni zaokret do određenog kuta penjanja. Udaljenost u odnosu na tlo koju avion prijeđe tijekom izvođenja vertikalnog zaokreta označena je oznakom  $s_3$ . Četvrta i posljednja faza uzlijetanja aviona naziva se penjanje, a predstavlja penjanje aviona do propisane visine. Propisana visina, kao što je u definiciji uzlijetanja navedeno, ovisi o klasi

performansi u koju avion pripada. Na propisanoj visini avion treba postići sigurnosnu brzinu uzlijetanja koja za određeno uvećanje mora biti veća od brzine sloma uzgona. Udaljenost u odnosu na tlo koju avion prijeđe tijekom penjanja do propisane visine u sklopu uzlijetanja označena je oznakom  $s_4$ . Ukupna udaljenost koju avion prijeđe tijekom uzlijetanja opisana je u potpoglavlju 3.2. gdje su opisane raspoložive i potrebne duljine za uzlijetanje te njihov odnos [20].

### 3.1. Sile pri uzlijetanju

Tijekom uzlijetanja zrakoplova promatra se djelovanje sljedećih sila: uzgona, otpora, potiska i težine zrakoplova. Na Slici 2 prikazane su navedene sile, odnosno njihovi smjerovi i orijentacije, na primjeru aviona. Uzgon je označen oznakom  $L$  (od engl. *Lift*). Otpor je označen oznakom  $D$  (od engl. *Drag*), a dok se avion nalazi na tlu prisutan je i otpor trenja kotrljanja koji se naziva i trenje kotača te je označen oznakom  $R$  (od engl. *Resistance*). Oznakom  $W$  (od engl. *Weight*) označena je težina aviona. Potisak je označen oznakom  $T$  (od engl. *Thrust*), [3], [18], [19], [20].



**Slika 2.**Sile pri uzlijetanju na primjeru aviona, [20]

Težina zrakoplova ovisi o masi zrakoplova te se tijekom uzlijetanja smanji proporcionalno masi goriva koje je utrošeno za uzlijetanje. U potpoglavlju 3.3.1. na primjeru kontrolne skupine grafički je prikazan utjecaj MTOM-a na potrebnu duljinu za uzlijetanje, [3], [18], [19].

Uzgon je aerodinamička sila koja nastaje na uzgonskim površinama, a proporcionalna je kvadratu brzine. Značajan trenutak uzlijetanja zrakoplova je kad se uzgon izjednači sa težinom nakon čega se zrakoplov odvaja od tla, odnosno uzletne površine, [3], [18], [19].

Potisak nije konstantan tijekom uzlijetanja, a varijacija potiska s promjenom brzine ovisi o pogonskom sustavu zrakoplova. U osnovi se potisak smanjuje tijekom uzlijetanja, [3], [18], [19], [20].

Aerodinamički otpor te otpor trenja kotrljanja čine ukupni otpor pri uzlijetanju, a isti se povećava tijekom uzlijetanja, [3], [18], [19], [20].

Odnos potiska i otpora vrlo je važan jer određuje rezultantnu silu uslijed čijeg djelovanja se zrakoplov giba i dolazi do povećanja brzine, a ista se tijekom uzlijetanja smanjuje, [3], [18], [19], [20].

### **3.2. Potrebne i raspoložive duljine pri uzlijetanju**

Pri opisu performansi uzlijetanja u osnovi je riječ o duljinama pri uzlijetanju. Razlikuju se raspoložive i potrebne duljine. Raspoložive duljine objavljene su u Zborniku zrakoplovnih informacija (kratica AIP od engl. *Aeronautical Information Publication*). Važno je naglasiti kako se raspoložive duljine objavljuju za sve uzletno-sletne staze i za sve pravce operacija. Pod raspoloživim duljinama podrazumijevaju se: raspoloživa duljina za zalet (kratica TORA od engl. *Take-Off Run Availabe*), raspoloživa duljina za uzlijetanje (kratica TODA od engl. *Take-Off Distance Available*) te raspoloživa duljina za ubrzanje i zaustavljanje (kratica ASDA od engl. *Accelerate-Stop Distance Availabe*). Uz navedene, obavezno je objaviti i raspoloživu duljinu za slijetanje (kratica LDA od engl. *Landing Distance Available*), no o istoj je detaljnije riječ u poglavlju 7 [21].

TORA je „duljina raspoloživa i prikladna za zalet aviona koji je u uzlijetanju”. Drugim riječima, TORA predstavlja raspoloživu duljinu za prvi dio operacije uzlijetanja kada se avion giba po tlu [21].

TODA je „raspoloživa duljina za zalet zajedno s raspoloživom duljinom čistine ako postoji”. Dakle, TODA predstavlja raspoloživu duljinu za izvođenje cijele operacije uzlijetanja, odnosno od početka zaleta do dostizanja propisane visine [21].

ASDA je „raspoloživa duljina za zalet zajedno s raspoloživom duljinom staze za zaustavljanje ako postoji”. ASDA predstavlja duljinu koja je raspoloživa u slučaju prekinute operacije uzlijetanja [21].

Iz navedenih definicija može se zaključiti kako zaustavna staza i čistina nisu obavezne te nisu definirane uz svaku uzletno-sletnu stazu kao ni za svaki pravac operacija. Na Slici 3 prikazan je slučaj kada su uz uzletno-sletnu stazu definirane i zaustavna staza i čistina te su označene raspoložive duljine pri uzlijetanju. U slučaju kad nisu definirane niti zaustavna staza niti čistina, ASDA i TODA jednake su TORA [21].





**Slika 3.** Raspoložive duljine pri uzlijetanju, [21]

Kako je navedeno, uz opisane raspoložive duljine razlikuju se i potrebne duljine pri uzlijetanju, a to su: potrebna duljina za zalet (kratica TORR od engl. *Take-Off Run Required*), potrebna duljina za uzlijetanje (kratica TODR od engl. *Take-Off Distance Required*) i potrebna duljina za ubrzanje i zaustavljanje (kratica ASDR od engl. *Accelerate-Stop Distance Required*) [3].

TORR predstavlja duljinu potrebnu za zalet aviona, odnosno za dio operacije uzlijetanja kada se avion giba po tlu [3].

TODR predstavlja potrebnu duljinu za izvođenje cijele operacije uzlijetanja, odnosno od početka zaleta do dostizanja propisane visine [3].

ASDR predstavlja ukupnu duljinu potrebnu za ubrzanje i zaustavljanje aviona. Pri izračunu ASDR-a u obzir se uzima stanje površine uzletno-sletne te jesu li definirane čistina i/ili zaustavna staza, a u razmatranje se obavezno uzima najkritičniji slučaj. Najkritičniji slučaj je onaj koji rezultira najvećim ASDR-om. Potrebno je naglasiti da se pri proračunima sa pretpostavkom otkaza motora pretpostavlja otkaz kritičnog motora, odnosno onog čiji otkaz najnepovoljnije djeluje na performanse aviona, [3], [18].

Prilikom svakog pojedinog uzlijetanja nužno je odrediti potrebne duljine s obzirom na uvjete koji su prisutni te utvrditi da potrebne duljine ne prekoračuju raspoložive. Potrebne duljine pri uzlijetanju mogu se odrediti na dva načina. Prvi način je izračun potrebnih duljina pri uzlijetanju primjenom propisanih faktora uvećanja, odnosno umanjenja s obzirom na uvjete koji su prisutni. Faktori uvećanja, odnosno umanjenja ovise primarno o klasi performansi, a oni koji su propisani s obzirom na uvjete ovise primjerice o tome jesu li definirane zaustavna staza i/ili čistina za promatrani pravac uzlijetanja te radi li se o uzlijetanju sa uzletno-sletne staze čija je površina suha ili mokra. Za svaku od potrebnih duljina određuje se vrijednost za slučaj kada su

svi motori operativni te u slučaju otkaza kritičnog motora pri odgovarajućoj brzini. U određenim proračunima uzimaju se i dodatna uvećanja kao što je vrijeme reakcije pilota od dvije sekunde nakon dostizanja brzine odluke ili proračuna gdje brzina otkaza kritičnog motora odgovara brzini odluke, a sve kako bi se dobila rezerva sigurnosti prilikom uzlijetanja. Drugi način određivanja potrebnih duljina pri uzlijetanju je korištenjem dijagrama koje izrađuje proizvođač zrakoplova, [3], [18], [19].

Kako je već navedeno, prilikom izračuna potrebnih duljina pri uzlijetanju potrebno je uzeti u obzir utjecaje raznih čimbenika. Kako za pilote, tako i za kontrolore zračnog prometa, a posebice aerodromske kontrolore zračnog prometa, vrlo je značajno razumijevanje utjecaja pojedinog čimbenika na potrebne duljine pri uzlijetanju. Značajni čimbenici koji utječu na potrebne duljine pri uzlijetanju su: gustoća zraka, kontaminacija površine zrakoplova, masa zrakoplova, uzdužni nagib i stanje površine uzletno-sletne staze, položaj zakrilaca te vjetar, [3], [18], [19].

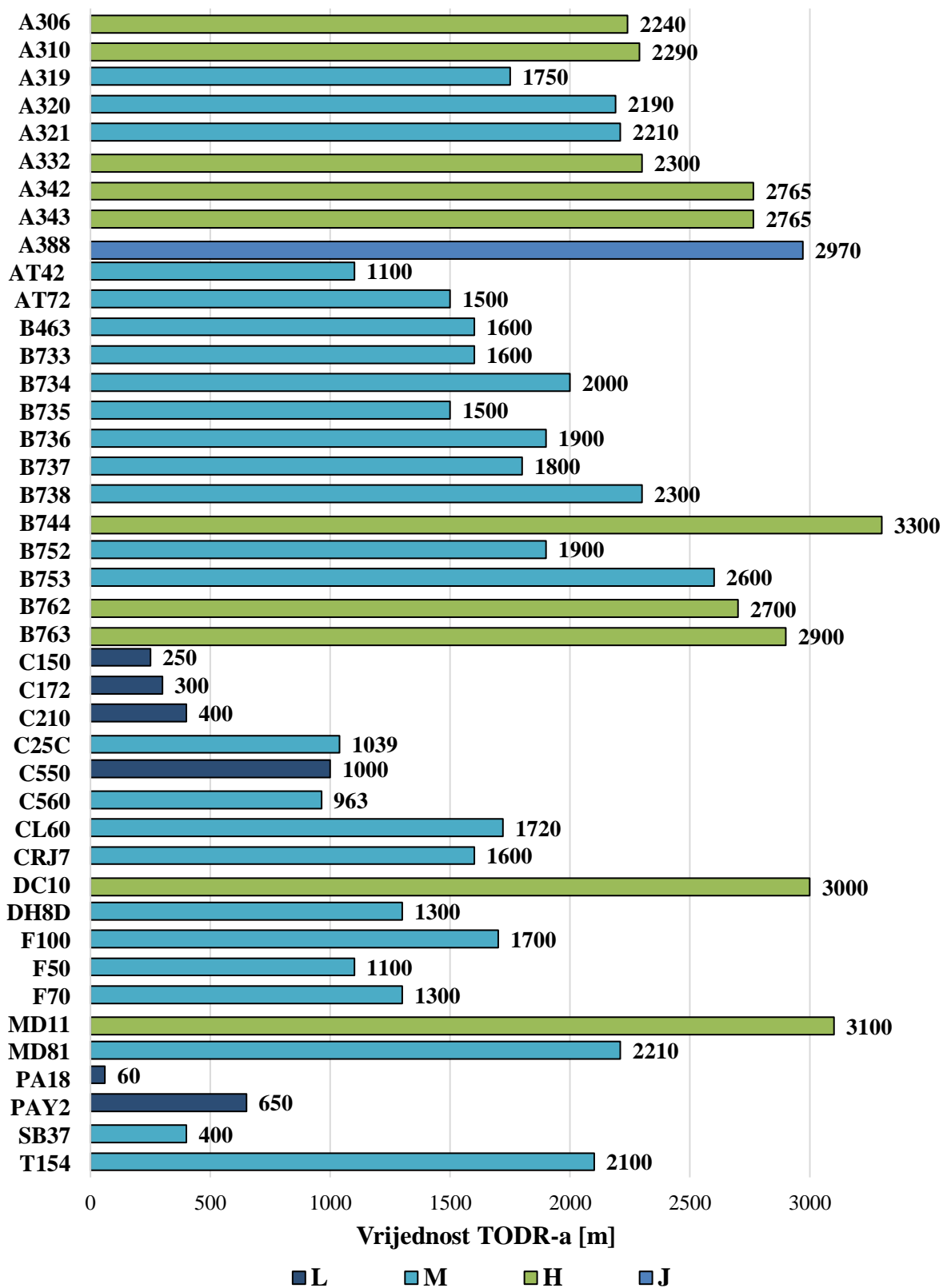
### **3.3. Analiza performansi aviona pri uzlijetanju**

Slijedi kratka analiza performansi aviona pri uzlijetanju na primjeru kontrolne skupine gdje su grafički prikazani utjecaji mase te pogonskog sustava aviona na TODR.

#### **3.3.1. Analiza utjecaja mase aviona na TODR**

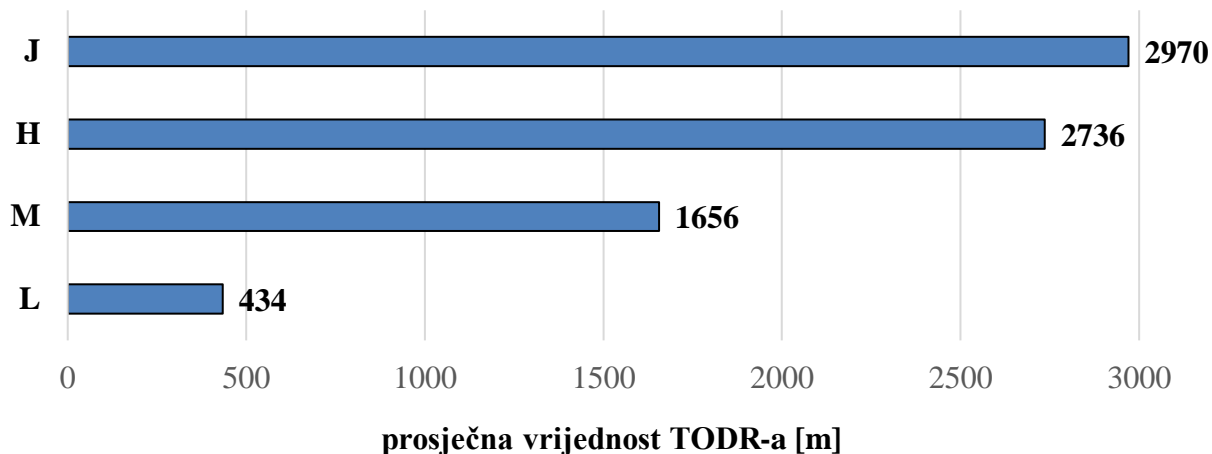
Masa aviona pri uzlijetanju predstavlja ukupnu masu koju čine operativna masa praznog aviona, masa putnog tereta te masa goriva. Putni teret podrazumijeva plaćeni i neplaćeni teret, a gorivo podrazumijeva gorivo za let te rezervno gorivo. Masa aviona jedna je od najbitnijih značajki svakog aviona te ima značajan utjecaj na performanse aviona pri uzlijetanju. U naredna tri grafikona prikazan je utjecaj mase na TODR, [18], [19], [22].

Slijede Grafikoni 7 i 8. Grafikon 7 prikazuje vrijednosti TODR-a kontrolne skupine. Avioni različitih kategorija prema vrtložnoj turbulenciji označeni su različitim bojama, a prosjek istih prikazan je u Grafikonu 8. Potrebno je napomenuti da se u kategorijama prema vrtložnoj turbulenciji izdvaja i kategorija *Super Heavy*. Također, potrebno je napomenuti da su vrijednosti TODR-a, u slučajevima kada prosječne vrijednosti nisu cijeli brojevi, zaokružene na vrijednosti većih cijelih brojeva radi jednostavnijeg prikaza i analize podataka [10].



Grafikon 7. Vrijednosti TODR-a kontrolne skupine

Izvor: [4], [10]

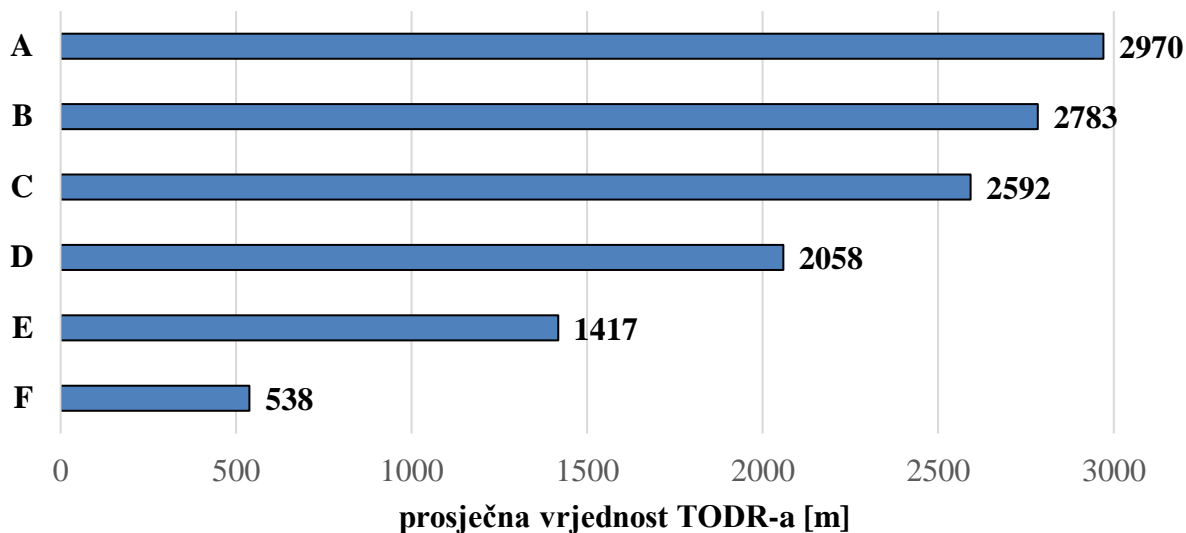


**Grafikon 8.** Utjecaj MTOM-a na TODR

Izvor: [4], [10]

Iz Grafikona 7 i 8 vidljivo je kako MTOM utječe na vrijednost TODR-a. Dakle, grafički je prikazano da veća masa rezultira i većim TODR-om. Avioni kontrolne skupine koji pripadaju *Light* kategoriji prema vrtložnoj turbulenciji imaju prosječni TODR od 434 m, uz raspon TODR-a unutar kategorije od 60 m do 1000 m. *Medium* kategorija ima prosječni TODR u iznosu od 1656 m, a raspon unutar kategorije je od 400 m do 2600 m. Za *Heavy* kategoriju prosječni TODR iznosi 2736 m, a u kategoriji je raspon od 2240 m do 3300 m. Kako je već navedeno, u *Super Heavy* kategoriji je samo Airbus A380 pa nema prosjeka niti raspona kategorije, već se u grafikonu nalazi samo vrijednost TODR-a navedenoga koja iznosi 2970 m, [4], [10].

Slijedi Grafikon 9 koji prikazuje odnos MTOM-a i TODR-a na primjeru kontrolne skupine, ali MTOM je, za razliku od prethodnog grafikona, prikazan kroz skupine novije podjele prema vrtložnoj turbulenciji, odnosno prema prekategoriizaciji. TODR je prikazan kroz prosječne vrijednosti svake pojedine kategorije uz napomenu da su prosječne vrijednosti, u slučajevima kada nisu cijeli brojevi, radi jednostavnijeg prikaza i analize podataka zaokružene na vrijednosti većih cijelih brojeva.



**Grafikon 9.** Utjecaj MTOM-a na TODR (prekategorizacija)

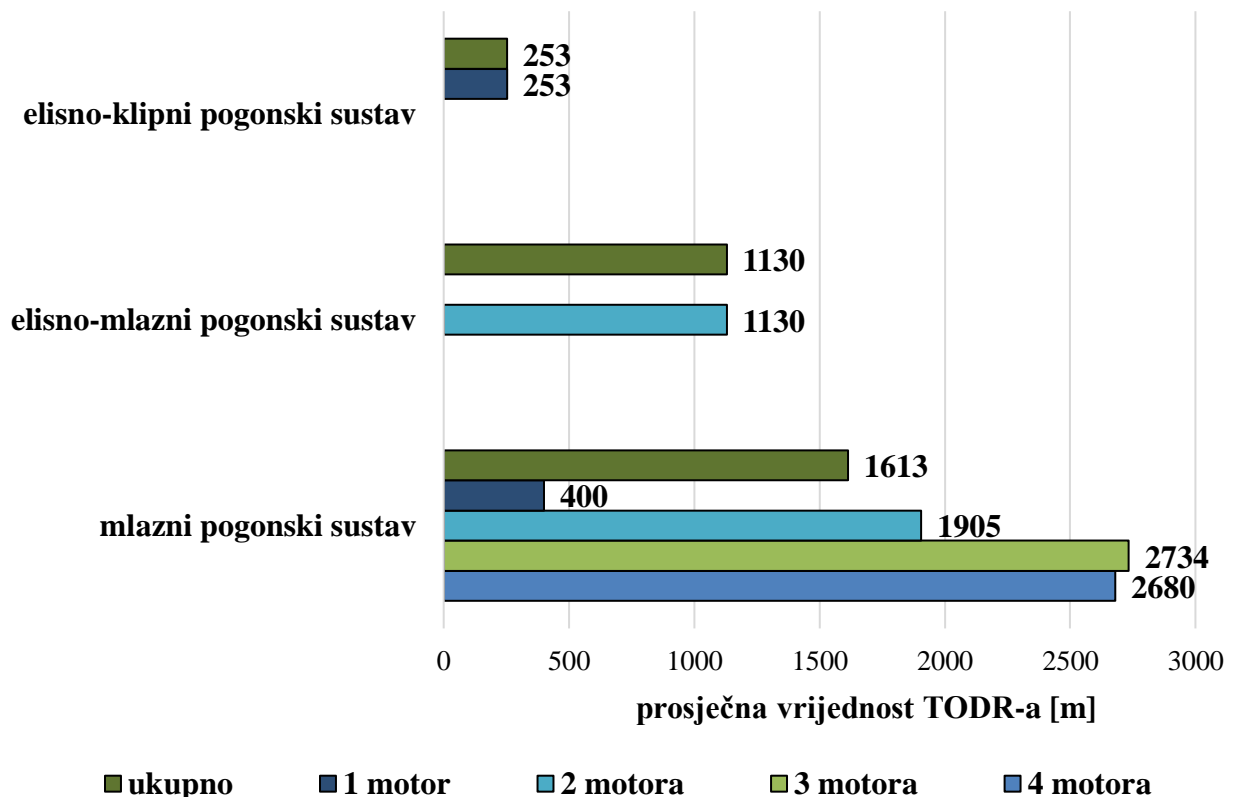
Izvor: [4], [14]

Kako je već opisano, prekategorizacija daje detaljniju podjelu u kategorije u odnosu na osnovnu podjelu prema vrtložnoj turbulenciji jer definira više kategorija, ali i zato što prilikom svrstavanja zrakoplova u kategorije u obzir uzima i raspon krila te brzinu. Iz Grafikona 9 već je na prvi pogled vidljivo kako je razlika između prosječnih vrijednosti TODR-a pojedinih kategorija manja u usporedbi sa prikazom na prethodnom grafikonu. Iz grafikona je vidljivo da prosječni TODR kategorije F iznosi 583 m. Raspon TODR-a unutar iste je od 60 m do 1039 m. Uspoređujući kategoriju F, odnosno *Light* kategoriju prekategorizacije, sa *Light* kategorijom osnovne podjele, može se uočiti kako *Light* kategorija prekategorizacije ima veći prosječni TODR i nešto veći raspon TODR-a unutar kategorije. Navedeno se može povezati s time što *Light* kategorija prekategorizacije ima veći udio u kontrolnoj skupini u odnosu na *Light* kategoriju osnovne podjele prema vrtložnoj turbulenciji, a navedeno je prikazano na Grafikonima 4 i 5. *Medium* kategoriju prekategorizacije čine kategorija D i E. E kategorija ima prosječnu vrijednost TODR-a 1417 m s rasponom unutar kategorije od 400 m do 2000 m, a D kategorija ima prosječnu vrijednost TODR-a 2058 m s rasponom unutar kategorije od 1750 m do 2300 m. Navedene dvije kategorije zajedno imaju prosječni TODR u iznosu od 1661 m s rasponom od 400 m do 2300 m što gotovo u potpunosti odgovara *Medium* kategoriji osnovne podjele prema vrtložnoj turbulenciji. *Heavy* kategoriju prekategorizacije čine kategorije A, B i C. Kategorija C ima prosječnu vrijednost TODR-a 2592 m s rasponom unutar kategorije od 1900 m do 3100 m, a kategorija B ima prosječnu vrijednost TODR-a 2783 m s rasponom unutar kategorije od 2300 m do 3300 m. Kategoriju A čini samo Airbus A380 pa prosjek odgovara

TODR-u navedenoga što iznosi 2970 m. Kategorije A, B i C zajedno imaju raspon TODR-a od 1900 m do 3300 m, a prosječni TODR iznosi 2680 m. Može se uočiti da *Heavy* kategorija prekategoriizacije u odnosu na *Heavy* kategoriju osnovne podjele prema vrtložnoj turbulenciji, koju u ovom razmatranju čine kategorije H i J s prosječnim TODR-om 2758 m te rasponom unutar kategorije od 2240 m do 3300 m, ima nešto manji prosječni TODR što je posljedica većeg raspona TODR-a unutar skupine, odnosno manje vrijednosti donje granice raspona, [4], [14].

### 3.3.2. Analiza utjecaja pogonskog sustava aviona na TODR

Važnost pogonskog sustava za performanse već je istaknuta u prethodnom dijelu rada, a kako bi se ista što bolje objasnila s obzirom na performanse pri uzlijetanju, u Grafikonu 10 prikazan je utjecaja pogonskog sustava na TODR na primjeru kontrolne skupine. Prosječne vrijednosti TODR-a su, u slučajevima kad nisu cijeli brojevi, radi jednostavnijeg prikaza i analize podataka zaokružene na veće cijele brojeve.



**Grafikon 10.** Utjecaj pogonskog sustava aviona na TODR

Izvor: [4]

Iz Grafikona 10 vidljivo je kakav je utjecaj pogonskog sustava na TODR na primjeru kontrolne skupine. Elisno-klipni pogonski sustav ima prosječni TODR 253 m, a raspon TODR-a unutar skupine je od 60 m do 400 m. Navedeni pogonski sustav koriste samo jednomotorni avioni u kontrolnoj skupini. Elisno-mlazni pogonski sustav unutar kontrolne skupine koriste samo dvomotorni avioni, a grafikon prikazuje da navedeni imaju prosječni TODR 1130 m s rasponom unutar skupine od 650 m do 1500 m. Dakle, može se uočiti kako avioni kontrolne skupine sa elisno-mlaznim pogonskim sustavom imaju veći TODR od onih sa elisno-klipnim pogonskim sustavom. Iz grafikona je dalje vidljivo da avioni kontrolne skupine sa mlaznim pogonskim sustavom imaju ukupan prosječni TODR iznosa 1613 m što je veće u odnosu na ranije navedene. Avioni kontrolne skupine koji imaju četiri mlazna motora imaju prosječni TODR 2680 m s rasponom unutar skupine od 1600 m do 3300 m, a avioni sa tri mlazna motora imaju prosječnu vrijednost TODR-a 2734 m s rasponom od 2100 m do 3100 m. Najbrojniji, dvomotorni mlazni avioni, imaju prosječni TODR 1905 m. Raspon TODR-a unutar navedene skupine je od 963 m do 2900 m. Pri opisivanju Grafikona 10 posebno se ističe skupinu koja predstavlja jednomotorne mlazne avione. Unutar kontrolne skupine istoj pripada samo jedan avion, a to je Saab 37 Viggen koji se koristi u vojne svrhe. TODR navedenog iznosi samo 400 m što je vrijednost kakvu u kontrolnoj skupini imaju jedino još avioni sa elisno-klipnim pogonskim sustavom, a u skladu je sa zahtjevima vojnih zadaća za koje je namijenjen [4].

Zaključno na sve opisano, može se uočiti da elisno-klipni pogonski sustav koriste avioni manjih masa u odnosu na one sa drugim pogonskim sustavima te se isti najčešće nalaze u najnižim kategorijama koje su vezane uz opis performansi uzlijetanja. Elisno-mlaznim pogonskim sustavom se koriste avioni nešto većih masa u odnosu na prethodno opisane avione sa elisno-klipnim pogonskim sustavom te se najčešće svrstavaju u kategorije nižih do srednjih vrijednosti pri opisu performansi uzlijetanja. Mlazni pogonski sustav koriste avioni većih masa u odnosu na prethodno opisane, a kada je riječ o performansama uzlijetanja pripadaju kategorijama srednjih i većih vrijednosti [4].

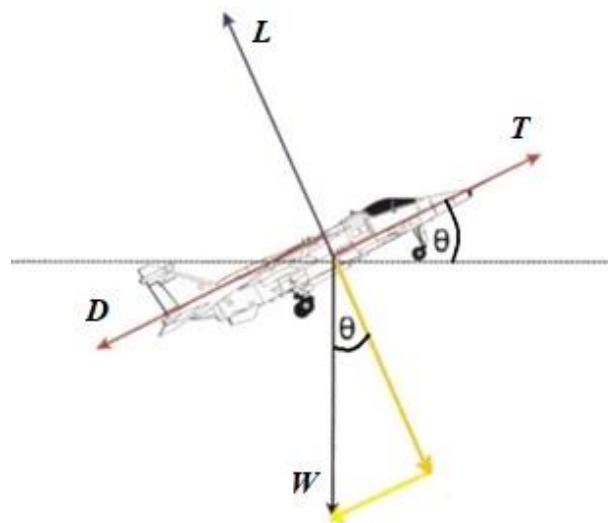
## 4. Performanse aviona pri penjanju

Penjanje (engl. *climb*) predstavlja fazu leta tijekom koje zrakoplov ostvaruje povećanje visine. Faza penjanja slijedi nakon uzlijetanja, ali kako je navedeno u prethodnom poglavlju, već i faza uzlijetanja obuhvaća početni dio penjanja do propisane visine. Nakon uzlijetanja dakle slijedi penjanje kada zrakoplov povećava visinu kako bi dosegnuo onu na kojoj će izvoditi horizontalni let, odnosno krstariti. Prvi dio penjanja naziva se penjanje nakon uzlijetanja ili inicijalno penjanje, a završava kada zrakoplov dostigne propisanu visinu koja za avione iznosi barem 1500 ft. Tijekom inicijalnog penjanja razlikuje se nekoliko segmenata, a za svaki segment propisani su brojni zahtjevi koji ovise o klasi performansi, [3], [18], [19].

Bitno je za istaknuti kako vertikalna putanja zrakoplova, odnosno vertikalni profil leta, tijekom cjelokupnog leta često nije idealna, odnosno optimalna. Pod idealnom putanjom podrazumijeva se slučaj kada bi zrakoplov nakon uzlijetanja kontinuiranim penjanjem dosegnuo optimalnu visinu krstarenja te kontinuiranim spuštanjem i na kraju slijetanjem završio svoj let. Zbog velike gustoće zračnog prometa, karakteristika zračnog prostora i brojnih drugih čimbenika, uobičajeno je takozvano stepenasto, odnosno postupno penjanje gdje zrakoplov u više navrata penje sa jedne visine krstarenja na drugu kako bi dostigao onu koja je predviđena planom leta.

### 4.1. Sile pri penjanju

Tijekom penjanja promatraju se učinci sljedećih sila: uzgona, potiska, težine i otpora. Navedene su prikazane na Slici 4 na primjeru aviona, [18], [19], [20].



Slika 4. Sile pri penjanju, [19]

Na Slici 4 vidljivo je da se avion pri penjanju nalazi pod određenim kutom s obzirom na horizontalnu ravninu. Taj kut naziva se kut penjanja (oznaka  $\theta$ ), a zbog istog se djelovanje



težine razlaže na komponente koje su na Slici 4 označene žutom te narančastom bojom. Pri promatranju performansi penjanja značajna je prva navedena komponenta težine, koja je na slici označena žutom bojom. Naime, horizontalna komponenta gibanja pri penjanju se događa uslijed djelovanja rezultantne sile određene odnosom potiska i otpora uz dodatak navedene komponente težine zrakoplova, [18], [19], [20].

Dakle, pri penjanju je vrlo važan potisak, a razlikuju se raspoloživi i potrebni potisak te višak potiska. Višak potiska vrlo je važan jer je potreban za penjanje i ubrzavanje zrakoplova te izvođenje zaokreta, [3], [18], [19], [20].

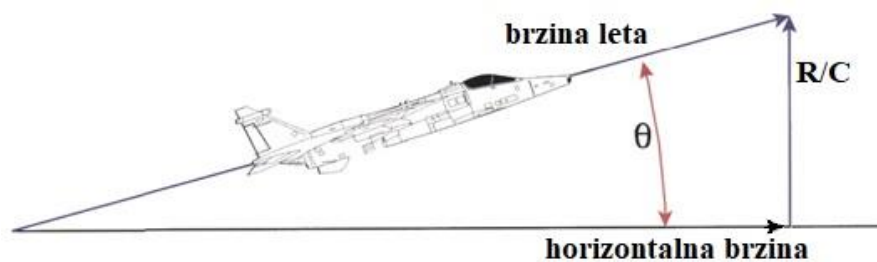
Osim kuta penjanja, prilikom opisivanja penjanja i performansi penjanja često se koriste i gradijent penjanja te brzina uzdizanja (oznaka R/C od engl. *Rate of Climb*). Stoga su navedeni pojmovi opisani u daljnjem tekstu.

#### 4.2. Gradijent penjanja

Gradijent penjanja predstavlja omjer povećanja visine i prijeđene horizontalne udaljenosti. Trigonometrijskom interpretacijom može se reći da je gradijent penjanja jednak tangensu kuta penjanja. Za relativno male vrijednosti kuta penjanja vrijednost sinusa i tangensa kuta penjanja približno je jednaka te se stoga gradijent penjanja može promatrati kao omjer viška potiska i težine zrakoplova. Prema navedenom, može se zaključiti da gradijent penjanja izravno ovisi o potisku, otporu i težini, odnosno masi zrakoplova. Točnije, pri razmatranju gradijenta penjanja važno je spomenuti da utjecaj imaju sljedeći čimbenici: akceleracija, gustoća zraka, konfiguracija zrakoplova, masa zrakoplova te vjetar, [18], [19].

#### 4.3. Brzina uzdizanja

Prilikom penjanja razlikuju se tri osnovne brzine: horizontalna brzina, brzina leta i vertikalna brzina ili R/C. R/C te ostale navedene brzine pri penjanju prikazane su na Slici 5, [18], [19], [20].



Slika 5. Brzine pri penjanju, [19]

Pomoću Slika 4 i 5 može se doći do zaključka da je R/C jednak omjeru viška snage i težine zrakoplova pa se mogu razmatrati utjecaji sljedećih čimbenika: gustoće zraka, konfiguracije zrakoplova, mase zrakoplova te vjetra, [3], [18], [19], [20].

R/C je vrlo važan jer kontrolori zračnog prometa u instrukcijama zrakoplovima mogu zadati i određeni R/C.

Prilikom penjanja razlikuju se dva optimalna režima: penjanje sa najvećim R/C-om (kratica BRC od engl. *Best Rate of Climb*) i penjanje sa najvećim kutom penjanja (kratica BAC od engl. *Best Angle of Climb*). BRC i BAC su funkcije visine leta, a određeni su brzinom leta, kutom penjanja te koeficijentom uzgona, [18], [19], [20].

#### **4.4. Vrhunac leta**

Zrakoplov penjanjem povećava svoju visinu, no za svaki model zrakoplova postoji najveća visina koju je moguće doseći. Prije svega, potrebno je napomenuti da se najveća visina koju zrakoplov može doseći naziva vrhunac leta. Razlikuju se dva vrhunca leta, praktični i apsolutni vrhunac leta, a oba su određena R/C-om, odnosno viškom snage. Kako smanjenje gustoće uzrokuje smanjenje viška snage, odnosno R/C-a, povećanjem visine na određenoj visini dolazi do izjednačenja raspoložive i potrebne snage što znači da nema viška snage. Ako nema viška snage zrakoplov nema mogućnost ostvarivanja R/C-a, odnosno penjanja. Navedeno predstavlja apsolutni vrhunac leta. Praktični vrhunac leta je na manjoj visini od apsolutnog, a predstavlja visinu na kojoj zrakoplov ima mogućnost penjanja sa određenom vrijednosti R/C-a. Uobičajeno ta vrijednost iznosi 100 ft/min što je približno 0,5 m/s. Potrebno je istaknuti kako se često koristi i izraz plafon leta, odnosno izrazi praktični plafon leta i apsolutni plafon leta, [18], [19], [20].

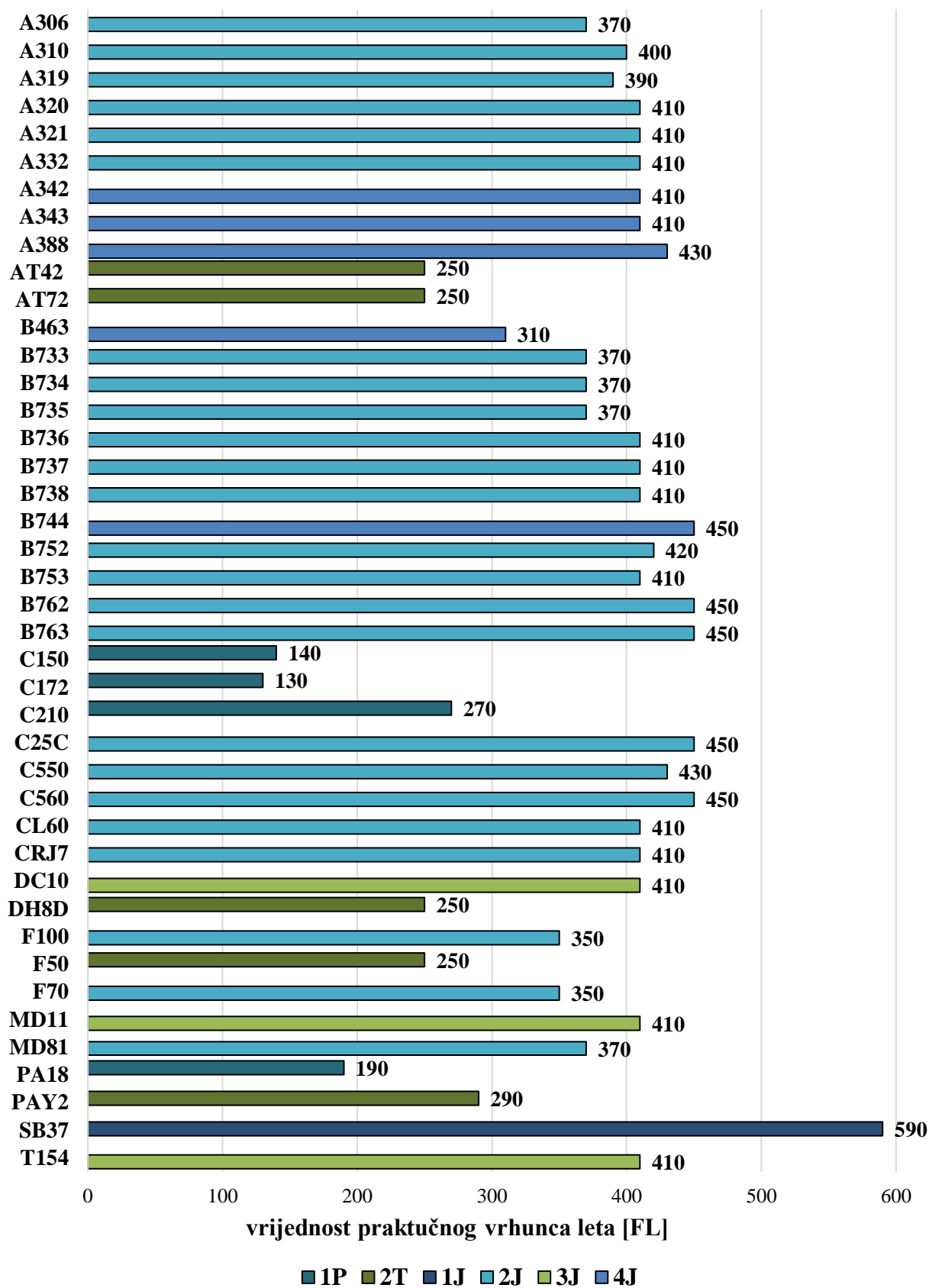
Kad je riječ o visinama, u zračnom prometu razlikuje se više pojmova, no vrhunac leta se izražava kao razina leta (kratica FL od engl. *Flight Level*). Razina leta označava površinu stalnog atmosferskog tlaka izmjerenu u odnosu na tlak standardne atmosfere od 101325 Pa. Razina leta označava se oznakom koju čine kratica FL i troznamenkasti broj koji predstavlja visinu u stotinama stopama. Potrebno je napomenuti da se koriste samo visine koje su višekratnici vrijednosti 500 ft, [23], [24].

U potpoglavlju 4.5. napravljena je analiza utjecaja pogonskog sustava na praktični vrhunac leta na primjeru kontrolne skupine.

#### **4.5. Analiza performansi aviona pri penjanju**

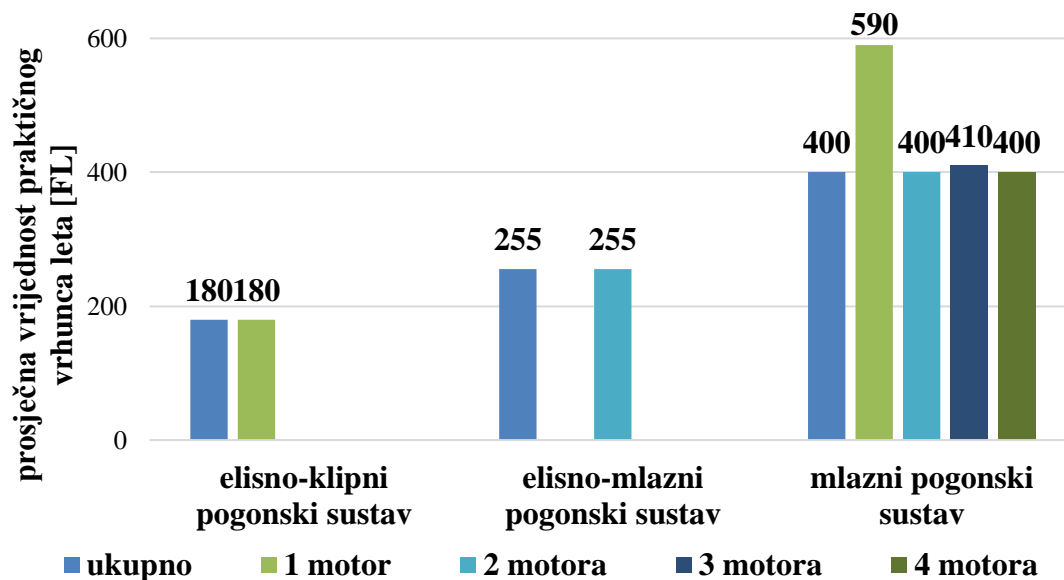
Kontrolori zračnog prometa se u složenim prometnim situacijama često koriste vertikalnim, odnosno visinskim razdvajanjem zrakoplova. Stoga je važno da poznaju vrhunce leta raznih modela zrakoplova te ih uzmu u obzir prilikom kontroliranja prometne situacije, odnosno izdavanja instrukcija kako bi one bile sigurne i provedive. Naravno, operativno se koristi praktični vrhunac leta.

Slijede Grafikoni 11 i 12. Grafikon 11 prikazuje pojedinačne vrijednosti praktičnog vrhunca leta unutar kontrolne skupine, a avioni su označeni različitim bojama s obzirom na pogonski sustav. Grafikon 12 prikazuje usporedbu praktičnih vrhunaca leta aviona kontrolne skupine s obzirom na pogonski sustav. Praktični vrhunci leta prikazani su kao prosječne vrijednosti svake pojedine skupine s obzirom na pogonski sustav koje su u Grafikonu 11 označene različitim bojama. Potrebno je napomenuti da su vrijednosti, gdje je to potrebno, zaokružene na manje vrijednosti FL-a koje se koriste. Navedeno je napravljeno radi jednostavnijeg prikaza i analize podataka.



**Grafikon 11.** Vrijednosti praktičnih vrhunaca leta kontrolne skupine

Izvor: [4]



**Grafikon 12.** Utjecaj pogonskog sustava aviona na praktični vrhunac leta

Izvor: [4]

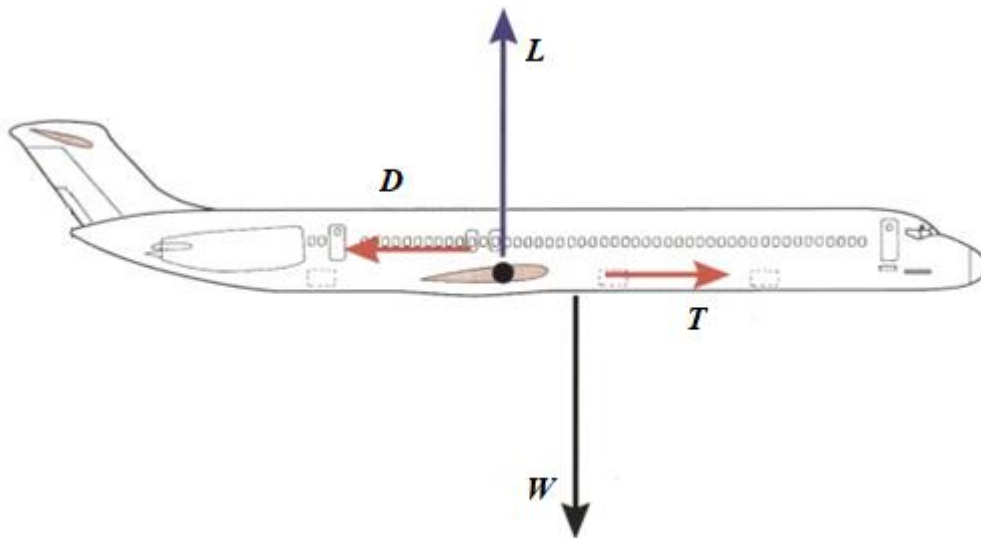
Iz Grafikona 11 i 12 vidljivo je kako pogonski sustav aviona utječe na vrijednost praktičnog vrhunca leta na primjeru kontrolne skupine. Vidljivo je da avioni kontrolne skupine koji koriste elisno-klipni pogonski sustav, a koji su svi jednomotorni, imaju prosječnu vrijednost praktičnog vrhunac leta na FL180. Raspon vrijednosti unutar navedene skupine je od FL130 do FL270. Avioni sa elisno-mlaznim pogonskim sustavom u kontrolnoj skupini su isključivo dvomotorni, a iz grafikona je vidljivo da isti imaju prosječnu vrijednost praktičnog vrhunac leta na FL255. Raspon vrijednosti unutar navedene skupine je od FL250, što predstavlja praktični vrhunac leta za veliku većinu navedene skupine, do FL290. Može se uočiti da avioni sa elisno-mlaznim pogonskim sustavom imaju viši vrhunac leta od onih aviona koji koriste elisno-klipni pogonski sustav. Dalje je iz grafikona vidljivo da avioni koji koriste mlazni pogonski sustav imaju ukupni prosječni vrhunac leta na FL400. Već spomenuti jednomotorni mlazni avion kontrolne skupine, Saab 37 Viggen, ima vrhunac leta na FL590 što je najviše u cijeloj kontrolnoj skupini. Dvomotorni mlazni avioni kontrolne skupine imaju prosječni vrhunac leta na FL400, a raspon unutar skupine je od FL350 do FL450. Kako je ranije navedeno, to je najbrojnija skupina unutar kontrolne skupine. Svi tromotorni mlazni avioni kontrolne skupine imaju vrhunac leta na FL410. Četveromotorni mlazni avioni imaju u prosjeku vrhunac leta na FL400 što odgovara prosjeku dvomotornih mlaznih aviona, ali i ukupnom prosjeku mlaznih aviona kontrolne skupine. Raspon vrijednosti unutar navedene skupine iznosi od FL310 do FL450. Dakle, može se zaključiti kako avioni sa mlaznim pogonskim sustavom imaju više vrhunac leta od ostalih te su namijenjeni letu na većim visinama [4].

## 5. Performanse aviona pri krstarenju

Krstarenje (engl. *cruise*) predstavlja fazu leta tijekom koje zrakoplov izvodi horizontalan let, dakle bez promjene visine. Faza krstarenja naziva se i rutna faza leta, a tijekom iste zrakoplov uobičajeno prelazi najveći dio udaljenosti u letu.

### 5.1. Sile pri krstarenju

Kao i tijekom ostalih faza leta, pri krstarenju zrakoplova promatra se djelovanje: uzgona, potiska, otpora i težine zrakoplova, a iste su prikazane na Slici 6, [18], [19], [20].



Slika 6. Sile pri krstarenju, [19]

Na Slici 6 vidljive su sile koje djeluju tijekom krstarenja zrakoplova. Dodatno se može promatrati i sila na repu koja utječe na momente oko težišta zrakoplova. Prilikom ravnotežnog, odnosno letu bez promjena u visini i brzini leta, sve sile i momenti su uravnoteženi. Dakle, otpor je suprotne orijentacije, ali jednakog iznosa kao potisak. Isto vrijedi i za odnos uzgona i težine zrakoplova, a momenti na zrakoplov jednaki su nuli. Prilikom opisa svake faze leta u ovom radu navedene su sile koje djeluju na zrakoplov jer iste određuju, odnosno utječu na performanse zrakoplova. Momenti utječu na stabilnost, odnosno upravljivost zrakoplova što nije predmet bavljenja ovog rada pa isti nisu opisani, [18], [19], [20].

### 5.2. Brzina krstarenja

Brzine leta koje se mogu postići tijekom horizontalnog leta ovise o raspoloživom potisku, odnosno snazi pogonskog sustava. Točnije, brzine koje se mogu postići ovise o postavci snage ili potiska, ovisno o pogonskom sustavu, te visini leta. Tijekom krstarenja uobičajeno se koristi postavka najveće snage ili potiska za kontinuirano korištenje, ovisno o pogonskom sustavu, pa

brzina krstarenja nije najveća brzina koju zrakoplov može postići. Brzina krstarenja je ona pri kojoj su optimalne performanse krstarenja, a izražava se kao stvarna zračna brzina, [18], [19], [23].

Brzina krstarenja mlaznih zrakoplova uobičajeno se izražava pomoću Machovog broja. Machov broj općenito predstavlja omjer brzine gibanja tijela kroz neko sredstvo i brzine zvuka u istom sredstvu. Dakle, s obzirom na tematiku rada, podrazumijeva se da se navedeno odnosi na gibanje zrakoplova kroz zrak, [18], [23].

Važno je napomenuti da kontrolori zračnog prometa često koriste instrukcije vezane uz brzinu zrakoplova kako bi održavali propisno razdvajanje zrakoplova. Stoga trebaju poznavati ograničenje brzine koja pojedini model zrakoplova ima.

U potpoglavlju 5.5.2. napravljena je analiza utjecaja pogonskog sustava na brzinu krstarenja na primjeru kontrolne skupine.

### **5.3. Dolet**

Udaljenost koju zrakoplov može prijeći s obzirom na raspoloživu količinu goriva naziva se dolet. Uz dolet, pri opisu performansi zrakoplova, potrebno je istaknuti i specifični dolet koji predstavlja dolet po kilogramu goriva, [3], [18], [19].

Postoji režim leta koji podrazumijeva najbolji dolet, a razlikuje s obzirom na pogonski sustav. Može se istaknuti da režim najboljeg doleta za propelerski pogonski sustav odgovara režimu minimalne potrebne sile [21].

Na dolet utječu razni čimbenici, a najznačajniji su sljedeći: masa zrakoplova, temperatura zraka, visina leta te vjetar, [3], [18], [19].

U potpoglavlju 5.5.1. napravljena je analiza utjecaja pogonskog sustava na dolet na primjeru kontrolne skupine.

### **5.4. Istrajnost**

Vrijeme koje zrakoplov može provesti u letu s obzirom na raspoloživu količinu goriva predstavlja istrajnost. Najveća istrajnost postiže se pri najmanjoj stopi potrošnje goriva, [3], [18], [19].

Postoji režim leta koji podrazumijeva najveće trajanje leta, odnosno najveću istrajnost, a razlikuje se s obzirom na pogonski sustav. Režim najveće istrajnost u slučaju mlaznog

pogonskog sustava odgovara režimu najmanjeg potrebnog potiska, a za propelerski pogonski sustav isti odgovara režimu najmanje potrebne snage [20].

Na istrajnost utječe niz čimbenika, a najznačajniji su sljedeći: masa zrakoplova, visina leta te temperatura zraka, [3], [18], [19].

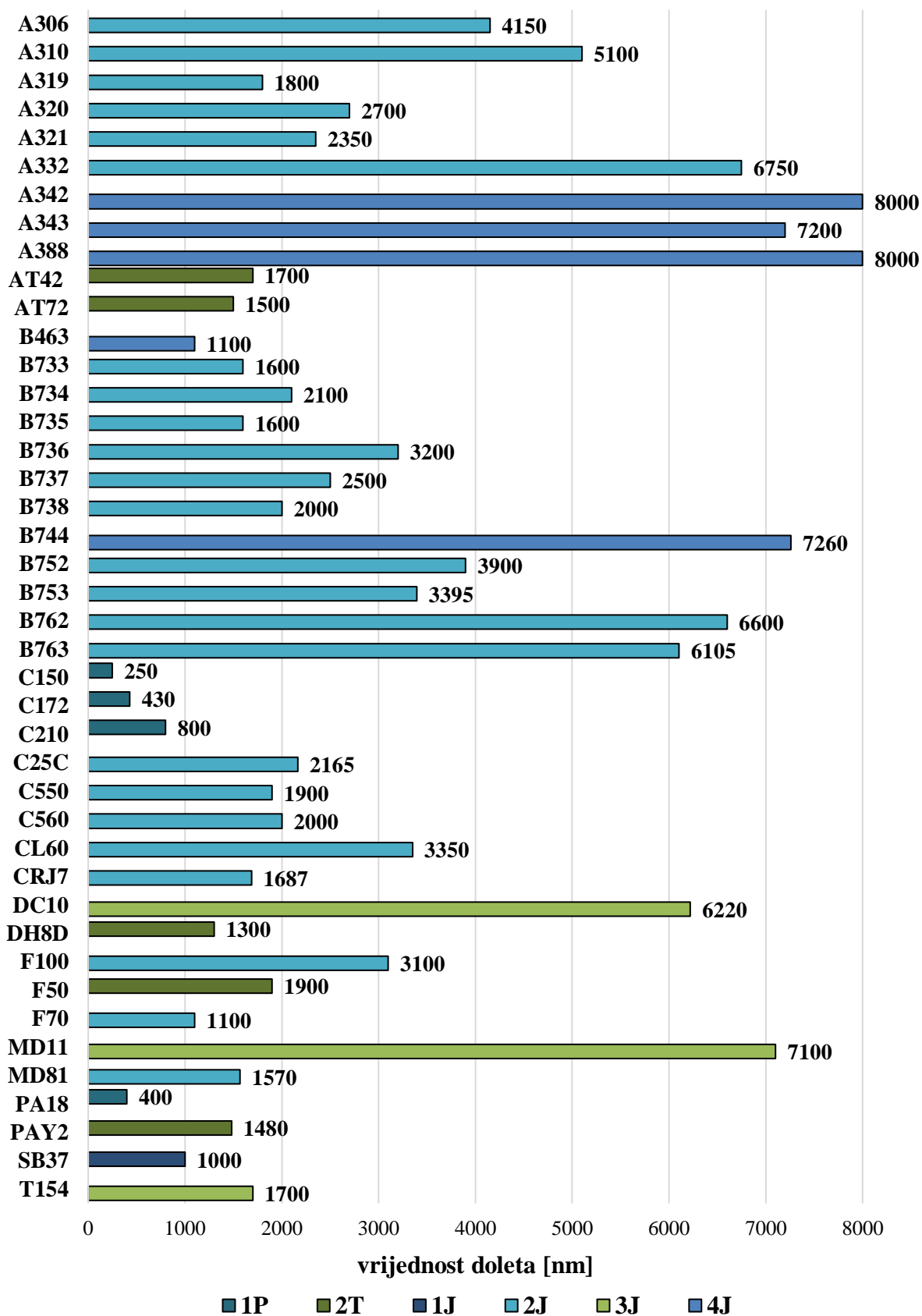
### **5.5. Analiza performansi aviona pri krstarenju**

Slijedi kratka analiza performansi aviona pri krstarenju na primjeru kontrolne skupine gdje je grafički prikazan utjecaj pogonskog sustava aviona na dolet te brzinu krstarenja.

#### **5.5.1. Analiza utjecaja pogonskog sustava aviona na dolet**

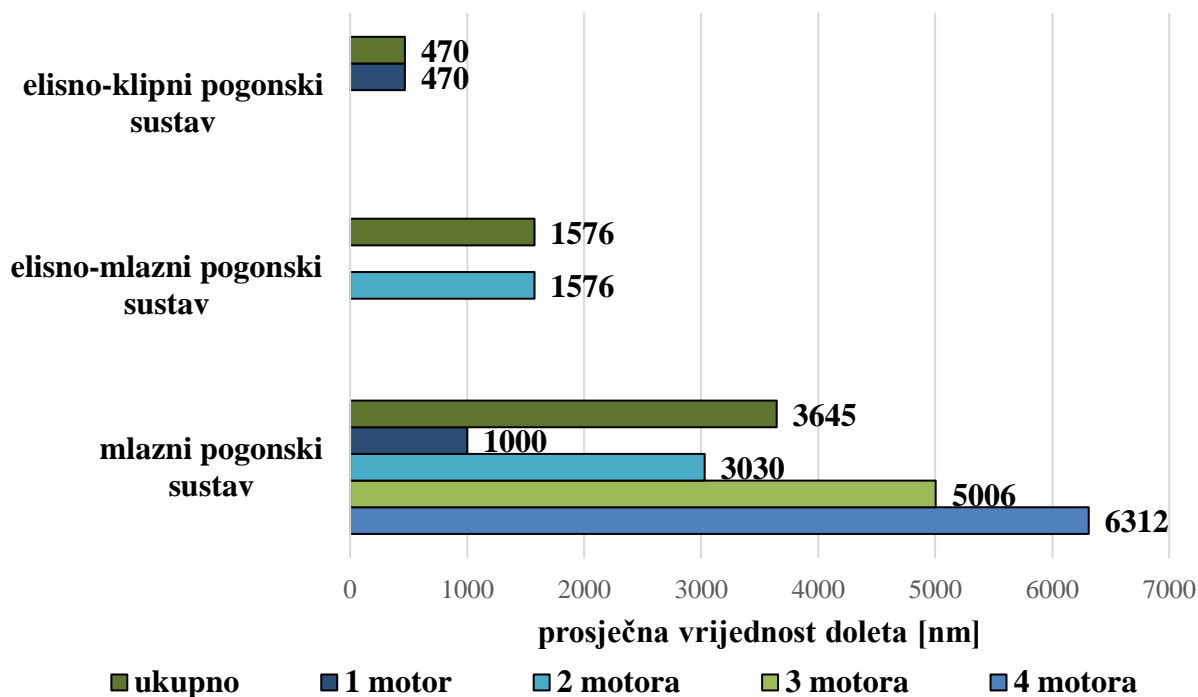
Slijede Grafikoni 13 i 14 koji prikazuju utjecaj pogonskog sustava aviona na dolet. Grafikon 13 prikazuje pojedinačne vrijednosti doleta kontrolne skupine, a avioni su označeni različitim bojama s obzirom na pogonski sustav. U Grafikonu 14 prikazan je prosječni dolet pojedine skupine s obzirom na pogonski sustav. Potrebno je napomenuti da su vrijednosti prosječnog doleta, u slučaju kada nisu cijeli brojevi, zaokružene na vrijednosti manjih cijelih brojeva. Navedeno je napravljeno radi jednostavnijeg prikaza i analize podataka.





**Grafikon 13.** Vrijednosti doleta kontrolne skupine

Izvor: [4]



**Grafikon 14.** Utjecaj pogonskog sustava aviona na dolet

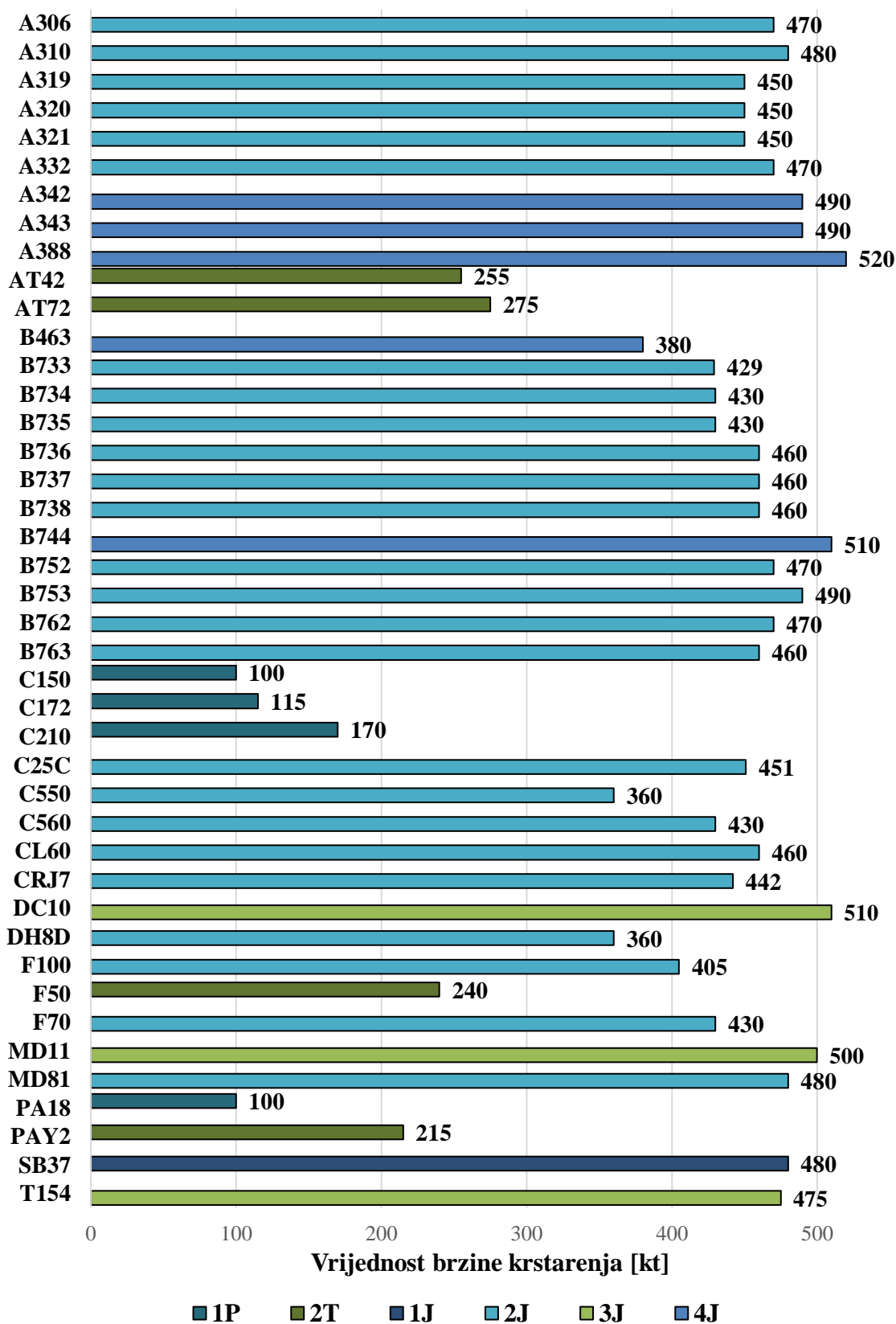
Izvor: [4]

Iz Grafikona 13 i 14 je na primjeru kontrolne skupine vidljivo je kakav je utjecaj pogonskog sustava na dolet. Elisno-klipni pogonski sustav koriste samo jednomotorni avioni kontrolne skupine, a vidljivo je da prosječni dolet navedene skupine iznosi 470 nm. Raspon vrijednosti doleta unutar skupine je od 250 nm do 800 nm. Dalje je vidljivo kako avioni koji koriste elisno-mlazni pogonski sustav, a unutar kontrolne skupine isti su isključivo dvomotorni, imaju prosječni dolet iznosa 1576 nm. Raspon doleta unutar skupine iznosi od 1300 nm do 1900 nm. Može se uočiti da avioni kontrolne skupine sa elisno-mlaznim pogonskim sustavom imaju veći dolet od onih koji koriste elisno-klipni pogonski sustav. Dalje je vidljivo da avioni kontrolne skupine sa mlaznim pogonskim sustavom imaju ukupan prosječni dolet iznosa 3645 nm što je veća vrijednost od prethodno navedenih. Jednomotorni mlazni avion ima dolet 1000 nm, a kako je prethodno utvrđeno, samo jedan avion kontrolne skupine pripada istoj. Najbrojniji, dvomotorni mlazni avioni, imaju prosječni dolet iznosa 3030 nm što je manje od ukupnog prosjeka mlaznih aviona kontrolne skupine. Raspon doleta unutar navedene skupine je od 1100 nm do 6750 nm. Avioni kontrolne skupine koji imaju tri mlazna motora imaju prosječni dolet 5006 nm s rasponom unutar skupine od 1700 nm do 6220 nm, a četveromotorni mlazni avioni kontrolne skupine imaju prosječni dolet 6312 nm s rasponom od 1100 nm do 8000 nm. Dakle,

na primjeru mlaznih aviona kontrolne skupine može se uočiti da se prosječni dolet povećava s povećanjem broja motora, no iz navedenih raspona vidljivo je da postoje i iznimke [4].

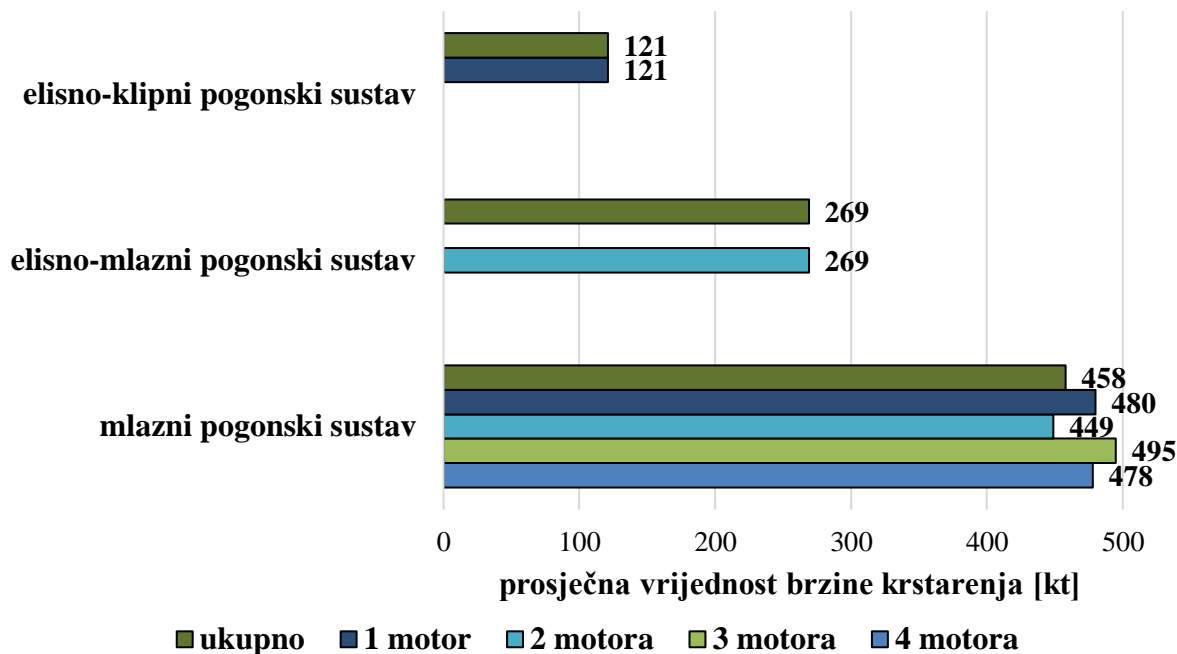
### **5.5.2. Analiza utjecaja pogonskog sustava aviona na brzinu krstarenja**

Slijede Grafikoni 15 i 16 koji prikazuju utjecaj pogonskog sustava na brzine krstarenja na primjeru kontrolne skupine. U Grafikonu 15 pojedinačno su prikazane vrijednosti brzina krstarenja, a avioni su označeni različitim bojama s obzirom na pogonski sustav. U Grafikonu 16 prikazane su prosječne vrijednosti brzina krstarenja skupina koje su u Grafikonu 15 označene različitim bojama, dakle s obzirom na pogonski sustav. Potrebno je napomenuti da su vrijednosti prosječnih brzina krstarenja, u slučaju kada nisu cijeli brojevi, zaokružene na vrijednosti manjih cijelih brojeva što je napravljeno radi jednostavnijeg prikaza i analize podataka.



Grafikon 15. Vrijednosti brzina krstarenja kontrolne skupine

Izvor: [4]



**Grafikon 16.** Utjecaj pogonskog sustava aviona na brzinu krstarenja

Izvor: [4]

Iz Grafikona 15 i 16 vidljivo je kako pogonski sustav aviona utječe na vrijednost brzine krstarenja na primjeru kontrolne skupine. Avioni sa elisno-klipnim pogonskim sustavom u kontrolnoj skupini su isključivo jednomotorni, a iz grafikona je vidljivo da isti imaju prosječnu vrijednost brzine krstarenja 121 kt. Raspon vrijednosti unutar navedene skupine je od 100 kt do 170 kt. Iz grafikona je dalje vidljivo da avioni kontrolne skupine koji koriste elisno-mlazni pogonski sustav, a koji su svi dvomotorni, imaju prosječnu vrijednost brzine krstarenja 269 kt, a raspon vrijednosti unutar navedene skupine je od 215 kt do 360 kt. Može se uočiti da avioni sa elisno-mlaznim pogonskim sustavom imaju veće brzine krstarenja od aviona koji koriste elisno-klipni pogonski sustav. Dalje je vidljivo da jednomotorni mlazni avion kontrolne skupine ima brzinu krstarenja koja iznosi 480 kt. Najbrojnija grupa unutar kontrolne skupine, odnosno dvomotorni mlazni avioni, imaju prosječnu brzinu krstarenja 449 kt, a raspon unutar skupine je od 360 kt do 490 kt. Tromotorni mlazni avioni kontrolne skupine imaju u prosjeku brzinu krstarenja vrijednosti 495 kt, a raspon unutar kategorije je od 475 kt do 510 kt. Četveromotorni mlazni avioni imaju prosječnu brzinu krstarenja vrijednosti 478 kt, a raspon unutar navedene skupine iznosi od 380 kt do 520 kt. Ukupan prosjek brzine krstarenja mlaznih aviona kontrolne skupine iznosi 458 kt. Dakle, može se zaključiti kako avioni sa mlaznim pogonskim sustavom imaju veće brzine krstarenja od ostalih, odnosno namijenjeni su krstarenju sa većim brzinama [4].

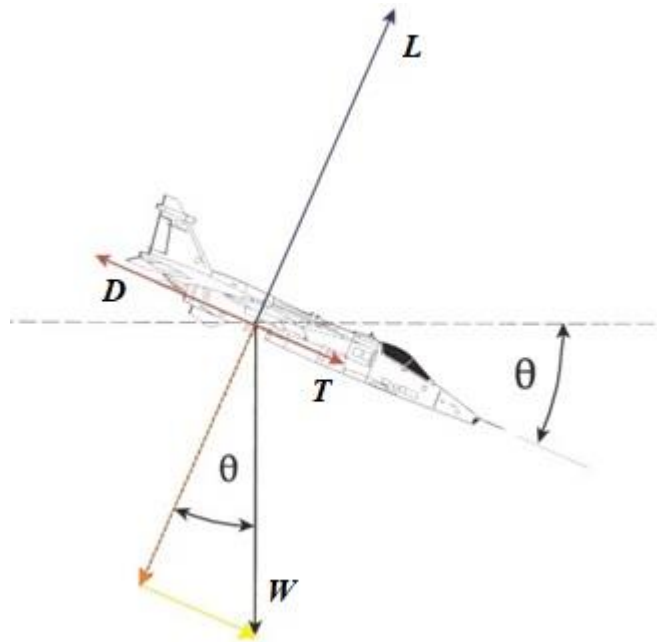
## 6. Performanse aviona pri spuštanju

Suprotno penjanju, spuštanje (engl. *descent*) predstavlja fazu leta zrakoplova pri kojoj zrakoplov smanjuje visinu. U idealnoj vertikalnoj putanji leta zrakoplova, odnosno u slučaju optimalnog vertikalnog profila leta, spuštanje slijedi nakon faze krstarenja kada zrakoplov smanjuje svoju visinu prije slijetanja. Međutim, spuštanje je, kao i penjanje, često postupno, odnosno stepenasto radi složenosti prometne situacije. Posebno je važan posljednji dio spuštanja prije slijetanja koji se naziva prilazjenje, odnosno prilaz za slijetanje.

Kako je spuštanje u velikoj mjeri suprotno penjanju, u daljnjem tekstu navedene su te opisane samo glavne značajke spuštanja, a performanse spuštanja nisu posebno analizirane u ovom radu.

### 6.1. Sile pri spuštanju

Na Slici 7 prikazane su sile pri spuštanju. Kao i u fazama leta koje prethode spuštanju, razmatra se djelovanje sljedećih sila: uzgona, potiska, težine i otpora, [18], [19], [20].



**Slika 7.** Sile pri spuštanju, [19]

Na Slici 7 vidljivo je da se zrakoplov pri spuštanju nalazi pod određenim kutom s obzirom na horizontalnu ravninu. Taj kut naziva se kut spuštanja, a označava se jednakom oznakom kao i kut penjanja (oznaka  $\theta$ ). Zbog navedenog kuta dolazi do razlaganja težine zrakoplova na komponente koje su na Slici 7 označene žutom i narančastom bojom. Pri promatranju performansi penjanja značajna je komponenta težine, koja je označena žutom bojom. Dakle,

potrebno je istaknuti da se pri spuštanju, suprotno penjanju, jedna komponenta težine pribraja potisku, [18], [19], [20].

## **6.2. Brzina snižavanja**

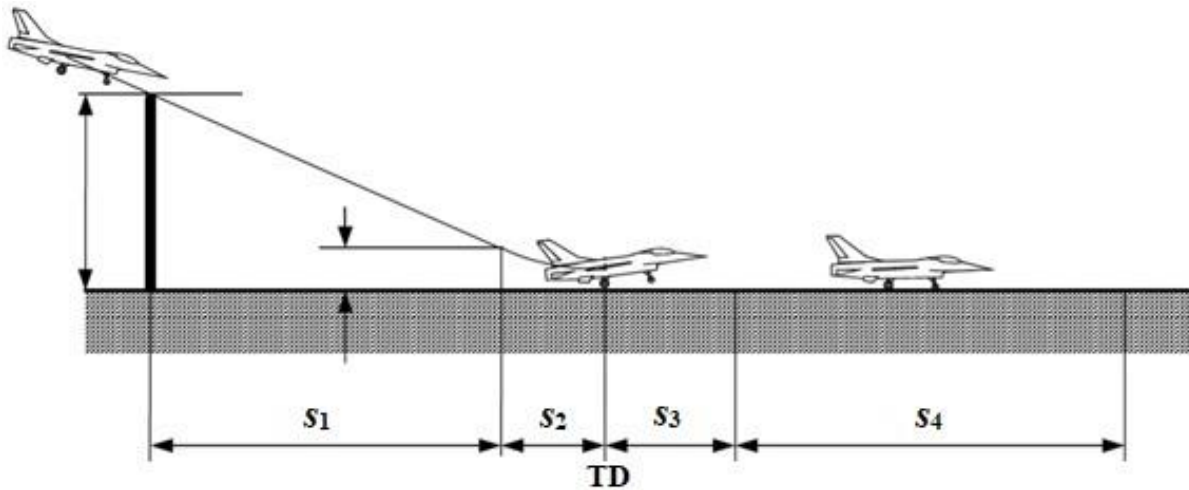
Prilikom opisa performansi koristi se već spomenuti kut spuštanja, no češće se koristi brzina snižavanja. Brzina snižavanja (oznaka R/D od engl. *Rate of Descent*) jednaka je omjeru razlike potrebne i raspoložive snage te težine zrakoplova. Kao i R/C pri penjanju, kontrolori zračnog prometa u instrukcijama zrakoplovima mogu zadati i određeni R/D, [18], [19].

Pri spuštanju postoje određeni optimalni režimi, a to sljedeći: režim najvećeg doleta, režim najduljeg spuštanja i režim najmanje brzine leta pri spuštanju. Režim najvećeg doleta pri spuštanju označava režim spuštanja s najmanjim kutom spuštanja gdje zrakoplov prilikom spuštanja prijeđe najveću udaljenost. Također, za navedeni režim spuštanja je karakteristično da je potrebna sila najmanja. Režim najduljeg spuštanja označava režim spuštanja sa najvećim vremenom spuštanja. Navedeno se ostvaruje pri najmanjem R/D-u, odnosno kad je potrebna snaga najmanja. Režim najmanje brzine leta pri spuštanju podrazumijeva spuštanje sa najmanjom brzinom u pravcu putanje zrakoplova. Dakle, pri navedenom režimu spuštanja brzinomjer zrakoplova pokazuje najmanju indiciranu zračnu brzinu [20].

## 7. Performanse aviona pri slijetanju

Slijetanje (engl. *landing*) predstavlja posljednju fazu letnih operacija zrakoplova. Slijetanje se definira kao faza leta od trenutka kada se zrakoplov nalazi iznad praga uzletno-sletne staze na određenoj visini do potpunog zaustavljanja na tlu. Visina na kojoj započinje slijetanje uobičajeno iznosi 50 ft, no postoje i slučajevi gdje je drugačijeg iznosa, [3], [18], [19].

Faze tijekom slijetanja aviona prikazane su na Slici 8.



**Slika 8.** Faze slijetanja aviona, [20]

Iz Slike 8 vidljivo je da se slijetanje aviona može promatrati kroz četiri faze. Prva faza slijetanja aviona naziva se spuštanje, a predstavlja spuštanje aviona od 50 ft iznad praga uzletno-sletne staze do visine na kojoj započinje izvođenje slijedeće faze, točnije vertikalni zaokret. Udaljenost u odnosu na tlo koju avion prijeđe tijekom spuštanja u sklopu slijetanja na slici je označena oznakom  $s_1$ . Kako je već navedeno, nakon spuštanja do određene visine avion izvodi vertikalni zaokret. Vertikalni zaokret se izvodi do dodira površine uzletno-sletne staze sa kotačima glavnog podvozja što se naziva *touchdown*. *Touchdown* je na slici je označen oznakom TD, a udaljenost u odnosu na tlo koju avion prijeđe tijekom izvođenja vertikalnog zaokreta označena je oznakom  $s_2$ . Nakon vertikalnog zaokreta slijedi rotacija aviona. Dakle, rotacija započinje nakon *touchdown*-a, a završava dodirrom površine uzletno-sletne staze prednjim kotačem, odnosno kotačima. Udaljenost koju avion prijeđe tijekom izvođenja rotacije na slici je označena sa  $s_3$ . Nakon završetka rotacije slijedi četvrta i posljednja faza slijetanja aviona koja se naziva usporavanje, a traje do potpunog zaustavljanja zrakoplova. Udaljenost koju avion prijeđe tijekom usporavanja označena je oznakom  $s_4$ . Ukupna udaljenost prijeđena tijekom slijetanja opisana je u potpoglavlju 7.2. [20].



Iz prethodno opisanog o slijetanju, može se zaključiti da je slijetanje u velikoj mjeri suprotno uzlijetanju. Stoga se pri opisu slijetanja često poziva na uzlijetanje i značajke opisane u poglavlju 3.

### **7.1. Sile pri slijetanju**

Kao i tijekom ostalih faza leta, pri slijetanju zrakoplova promatra se djelovanje: uzgona, otpora, potiska i težine. Pri razmatranju slijetanja najznačajnija je rezultantna sila koja djeluje na horizontalnu komponentu gibanja zrakoplova jer utječe na potrebnu duljinu za slijetanje. Navedena je određena odnosom potiska i ukupnog otpora, a prilikom slijetanja uzrokuje usporavanje zrakoplova. Potrebno je istaknuti da tijekom slijetanja aviona ukupni otpor čine aerodinamički otpor te otpor trenja kotrljanja koji djeluje na avion kad se isti giba po tlu, [3], [18], [19].

### **7.2. Potrebna i raspoloživa duljina za slijetanje**

Kao i za uzlijetanje, za svako slijetanje nužno je odrediti potrebnu duljinu za slijetanje (kratica LDR od engl. *Landing Distance Required*) u prisutnim uvjetima te odnos iste s obzirom na LDA. Već je prethodno navedeno da je LDA objavljen u AIP-u zajedno sa raspoloživim duljinama pri uzlijetanju. LDR predstavlja ukupnu potrebnu duljinu u odnosu na tlo za izvođenje slijetanja. Kao i potrebne duljine pri uzlijetanju, LDR se može odrediti korištenjem dijagrama koje izrađuje proizvođač zrakoplova ili primjenom propisanih uvećanja, odnosno umanjenja za uvjete koji su prisutni. Vrlo je važno da je LDR manji ili jednak LDA. Također, potrebno je napomenuti da postoje slučajevi kada prag nije smješten na početku uzletno-sletne staze što se naziva pomaknuti prag. Za razliku od operacija uzlijetanja koje u slučaju pomaknutog praga izvode od fizičkog početka uzletno-sletne staze, operacije slijetanja u tom se slučaju izvode od pomaknutog praga, [3], [18], [19], [21].

Prilikom određivanja LDR-a potrebno je uzeti u obzir utjecaje sljedećih čimbenika: gustoće zraka, mase zrakoplova, uzdužnog nagiba uzletno-sletne staze, položaja zakrilaca, stanja površine uzletno-sletne staze te vjetra. Utjecaj mase na LDR prikazan je kroz analizu u sljedećem potpoglavlju, potpoglavlju 7.3., [3], [18], [19], [22].

### **7.3. Analiza performansi aviona pri slijetanju**

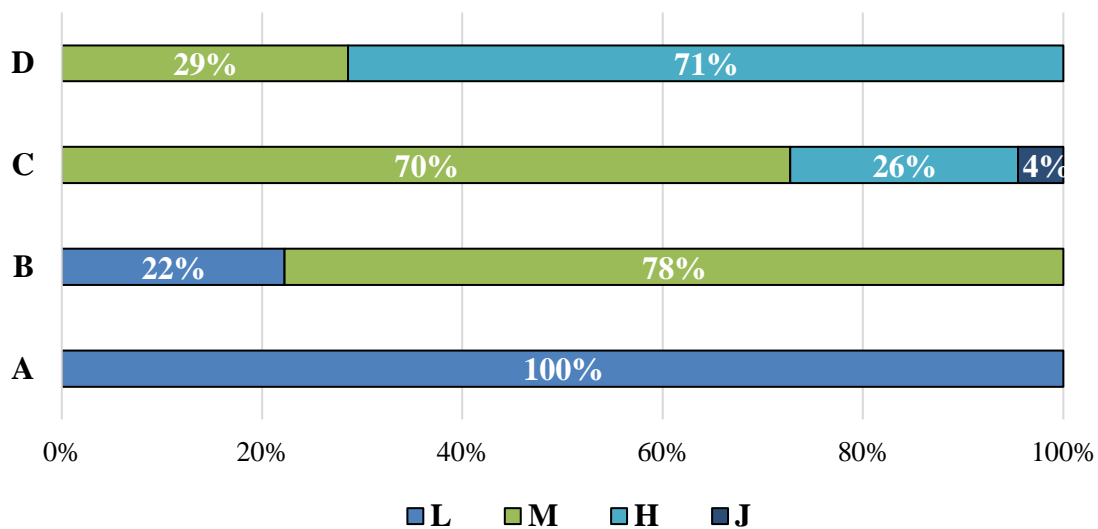
Performanse pri slijetanju važne su za aerodromsku kontrolu zračnog prometa.

Slijedi kratka analiza performansi aviona pri slijetanju na primjeru kontrolne skupine gdje su grafički prikazani odnos mase aviona i kategorija prilaza te odnos kategorija prilaza i LDR-a.

### 7.3.1. Analiza odnosa mase aviona i kategorija prilaza

Masa aviona jedna je od najbitnijih značajki svakog aviona, a ima značajan utjecaj na performanse aviona tijekom cijelog leta pa tako i pri slijetanju. Masa aviona pri slijetanju jednaka je masi aviona pri uzlijetanju umanjenoj za masu goriva utrošenog za let [22].

U narednom grafikonu, Grafikonu 17, prikazan je odnos mase aviona i kategorija prilaza. Masa aviona prikazana je kroz kategorije prema vrtložnoj turbulenciji gdje se izdvaja i kategorija *Super Heavy*. Za svaku pojedinu kategoriju prilaza prikazan je udio kategorija prema vrtložnoj turbulenciji, a potrebno je napomenuti kako su vrijednosti radi jednostavnije analize podataka zaokružene na vrijednosti cijelih brojeva [10].



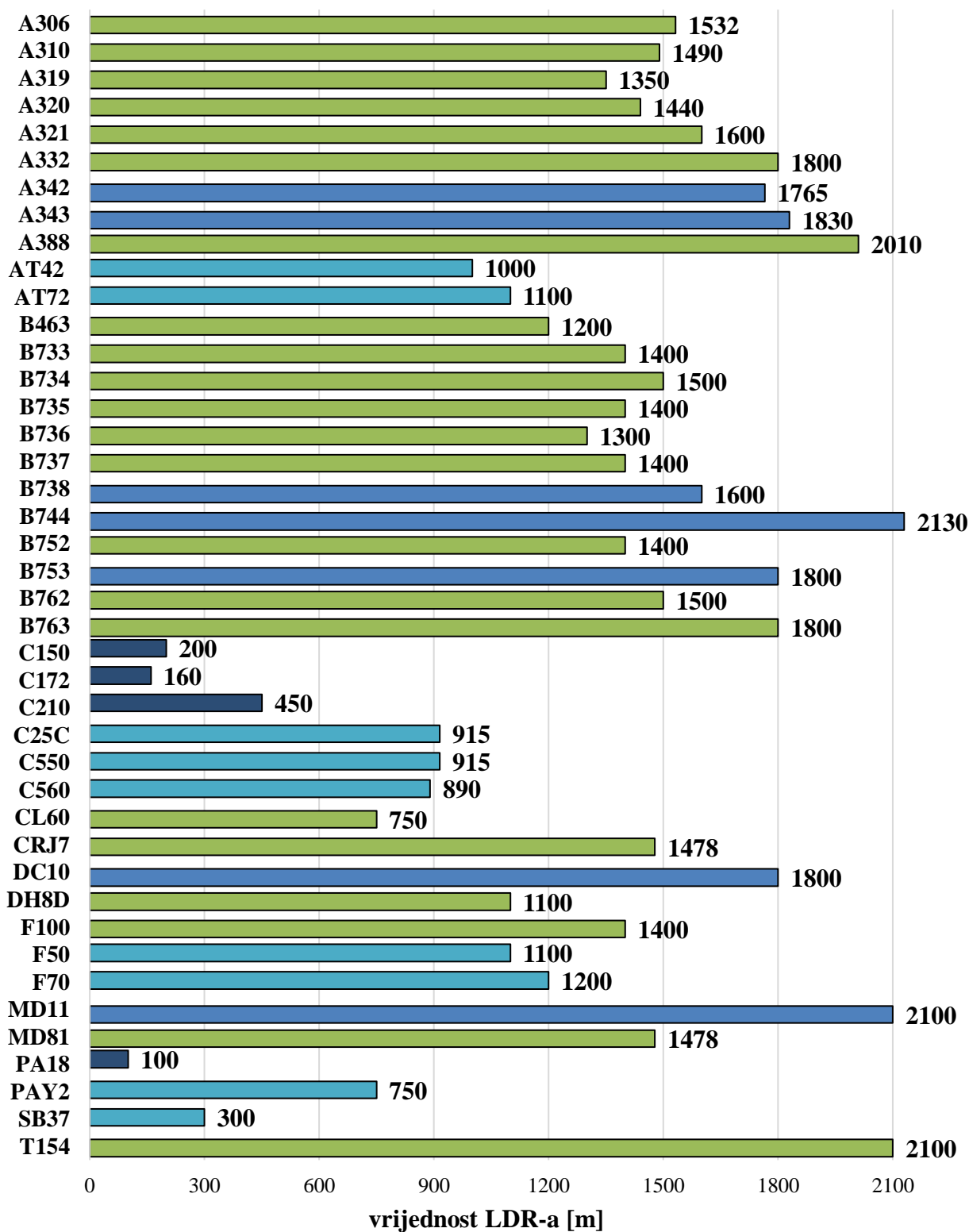
**Grafikon 17.** Analiza odnosa mase aviona i kategorija prilaza

Izvor: [4], [10], [16]

Kako je već navedeno, iz Grafikona 17 vidljiv je udio kategorija prema vrtložnoj turbulenciji za svaku pojedinačnu kategoriju prilaza. A kategoriju prilaza u potpunosti čine avioni *Light* kategorije prema vrtložnoj turbulenciji. B kategoriju prilaza pripadaju avioni *Light* i *Medium* kategorija, i to 22% čine avioni *Light* kategorije te 78% avioni *Medium* kategorije. C kategoriju prilaza čini 70% *Medium* kategorija, 26% *Heavy* kategorija i 4% *Super Heavy* kategorija. D kategoriju prilaza čini 29% *Medium* kategorija te 71% avioni *Heavy* kategorije prema vrtložnoj turbulenciji. Dakle, može se uočiti kako avioni većih masa pripadaju kategorijama prilaza s većim vrijednostima  $V_{at}$  u odnosu na one manjih masa koji pripadaju kategorijama s manjim vrijednostima  $V_{at}$ , [4], [10], [16].

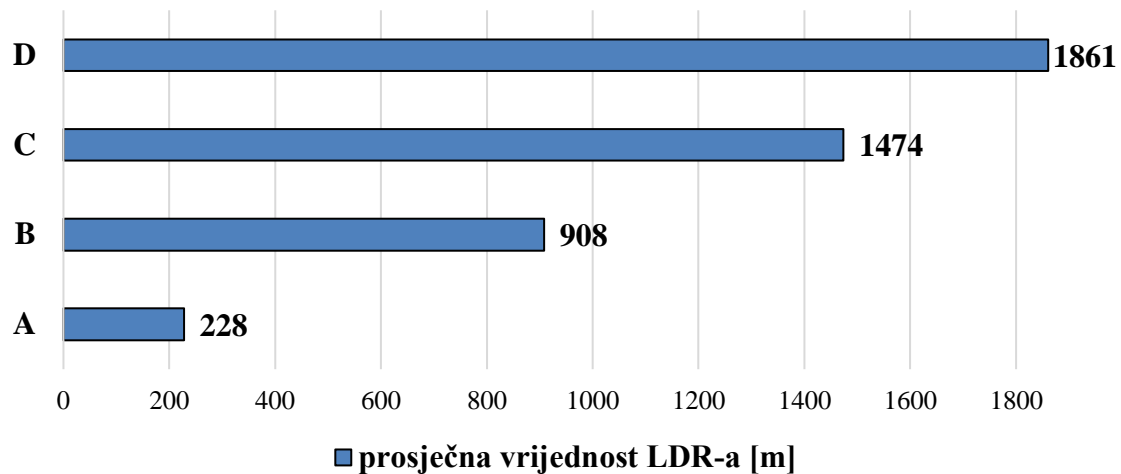
### **7.3.2. Analiza utjecaja kategorija prilaza aviona na LDR**

Slijede Grafikoni 18 i 19. Grafikon 18 prikazuje pojedinačne vrijednosti LDR-a unutar kontrolne skupine, a avioni su označeni različitim bojama s obzirom na pripadnost kategorijama prilaza. Grafikon 19 prikazuje odnos kategorija prilaza i LDR-a za kontrolnu skupinu. LDR je prikazan kroz prosječne vrijednosti svake pojedine kategorije prilaza uz napomenu da u slučajevima kad prosječne vrijednosti LDR-a nisu cijeli brojevi, vrijednosti su radi jednostavnijeg prikaza i analize podataka zaokružene na vrijednosti većih cijelih brojeva.



Grafikon 18. Vrijednosti LDR-a kontrolne skupine

Izvor: [4]



**Grafikon 19.** Utjecaj kategorija prilaza na LDR

Izvor: [4], [16]

Iz Grafikona 19 vidljiv je odnos kategorija prilaza i LDR-a za kontrolnu skupinu. A kategorija prilaza ima prosječni LDR 228 m. Raspon LDR-a unutar skupine aviona koja pripada A kategoriji prilaza iznosi od 100 m do 450 m. Avioni B kategorije prilaza imaju raspon LDR-a od 300 m do 1200 m, a prosjek iznosi 908 m. Avioni C kategorije prilaza imaju LDR u rasponu od 750 m do 2100 m s prosječnom vrijednosti 1474 m. D kategoriji prilaza pripadaju avioni kontrolne skupine sa LDR-om u rasponu od 1600 m do 2130 m, a prosjek iznosi 1861 m. Kako je već navedeno uz Grafikon 6, niti jedan avion kontrolne skupine ne pripada E kategoriji prilaza. Dakle, može se zaključiti da što je veća kategorija prilaza, odnosno  $V_{at}$ , to je veći i LDR. Osvrćući se na Grafikon 17 može se zaključiti da avioni većih masa pripadaju kategorijama prilaza većih vrijednosti  $V_{at}$  te imaju veće LDR-ove u odnosu na avione manjih masa koji pripadaju kategorijama prilaza manjih vrijednosti  $V_{at}$  te imaju manje LDR-ove, [4], [16].

## 8. Zaključak

Performanse zrakoplova se uobičajeno promatraju po fazama leta što podrazumijeva: uzlijetanje, penjanje, krstarenje, spuštanje i slijetanje. Pri opisu performansi uzlijetanja najznačajnije za istaknuti su potrebne duljine pri uzlijetanju te njihov odnos s raspoloživim duljinama u prisutnim uvjetima. R/C te praktični i apsolutni vrhunac leta uobičajeno se ističu pri opisivanju performansi penjanja. Tijekom krstarenja performanse se promatraju kroz brzinu krstarenja, dolet te istrajnost, a performanse spuštanja uobičajeno se opisuju R/D-om. Pri opisivanju performansi slijetanja najznačajniji je LDR te njegov odnos s LDA u prisutnim uvjetima.

Teži se tome da zračni promet bude učinkovit, redovit i ubrzan. Međutim, isti prije svega treba biti siguran. Da bi se navedeno ostvarilo, vrlo je važno uzeti u razmatranje i performanse zrakoplova. Performanse zrakoplova određuju mogućnosti, odnosno ograničenja zrakoplova, ali i kontrolora zračnog prometa s obzirom na određenu prometnu situaciju. Dakle, može se zaključno tvrditi da je nužno da kontrolori zračnog prometa poznaju performanse zrakoplova u smislu pripadnosti zrakoplova određenim kategorijama i klasama kako bi istima mogli zadavati provedive i sigurne instrukcije, ali i pridonijeti boljoj iskorištenosti zračnog prostora te optimizaciji prometne ponude i potražnje.

## Literatura

- [1] Zakon o zračnom prometu.

Preuzeto sa: <https://www.zakon.hr/z/177/Zakon-o-zracnom-prometu>

[Pristupljeno: srpanj 2021.]

- [2] Uredba Komisije (EU) br. 965/2012. Preuzeto sa:

<https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0965&from=HR>

[Pristupljeno: srpanj 2021.]

- [3] Domitrović A, Franjković D. Nastavni materijali kolegija Zrakoplovna prijevozna sredstva.

- [4] EUROCONTROL.

Preuzeto sa: <https://contentzone.eurocontrol.int/aircraftperformance/default.aspx?>

[Pristupljeno Srpanj 2021.]

- [5] Europa.eu.

Preuzeto sa: [https://europa.eu/european-union/about-eu/agencies/easa\\_hr#pregled](https://europa.eu/european-union/about-eu/agencies/easa_hr#pregled)

[Pristupljeno srpanj 2021.]

- [6] EASA.

Preuzeto sa: <https://www.easa.europa.eu/document-library/certification-specifications>

[Pristupljeno: srpanj 2021.]

- [7] Lozić S. Utjecaj atmosfere na promet. Odjel za geografiju, Sveučilište u Zadru.

Pristupljeno sa: <https://www.unizd.hr/geografija/nastavnici/sanja-lozic/nastavni-materijali>

[Pristupljeno: srpanj 2021.]

- [8] Steiner S. Elementi sigurnosti zračnog prometa, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 1998.

- [9] Skybrary. Preuzeto sa: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/660.pdf>  
[Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [10] ICAO Dokument 9426. Preuzeto sa: <https://www.icao.int/eurat/pages/other-meetings.aspx>  
[Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [11] ICAO. Preuzeto sa: <https://www.icao.int/MID/Documents/2019/ATM%20SG5/PPT1.pdf>  
[Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [12] FAA. Preuzeto sa: [https://www.faa.gov/news/fact\\_sheets/news\\_story.cfm?newsId=18676](https://www.faa.gov/news/fact_sheets/news_story.cfm?newsId=18676)  
[Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [13] Skybrary. Preuzetno sa:  
[https://www.skybrary.aero/index.php/RECAT\\_-\\_Wake\\_Turbulence\\_Re-categorisation](https://www.skybrary.aero/index.php/RECAT_-_Wake_Turbulence_Re-categorisation)  
[Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [14] EUROCONTROL. Preuzeto sa:  
<https://www.eurocontrol.int/publication/european-wake-turbulence-categorisation-and-separation-minima-approach-and-departure> [Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [15] EUROCONTROL. Preuzeto sa:  
<https://www.eurocontrol.int/press-release/recat-eu-paris-cdg-first-europe>  
[Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [16] ICAO Dokument 8168. Preuzeto sa: <https://www.caa.co.uk> [Pristupljeno: srpanj 2021.]
- [17] Skybrary. Preuzeto sa:  
[https://www.skybrary.aero/index.php/Approach\\_Speed\\_Categorisation](https://www.skybrary.aero/index.php/Approach_Speed_Categorisation)  
[Pristupljeno: srpanj 2021.]



- [18] Oxford aviation academy. Flight Performance & Planning I, Shoreham: Transair (UK) Ltd, 2008.
- [19] Oxford Aviation Training. Mass & Balance and Performance. Frankfurt: Jeppesen GmbH, 2001.
- [20] Vrdoljak M. Nastavni materijali kolegija Teorija leta II.
- [21] Pavlin S. Aerodromi I, Zagreb: Fakultet prmetnih znanosti, 2006.
- [22] Bračić M, Pivac J. Nastavni materijali kolegija Aerodromi.
- [23] Novak D. Zrakolovna računska navigacija, Zagreb: Fakultet prometnih znanosti, 2012.
- [24] Juričić B. Nastavni materijali kolegija Teorija kontrole zračnog prometa I.

## Popis grafikona

<b>Grafikon 1.</b> Podjela kontrolne skupine u klase performansi aviona .....	3
<b>Grafikon 2.</b> Podjela kontrolne skupine prema vrsti pogonskog sustava .....	5
<b>Grafikon 3.</b> Podjela kontrolne skupine prema vrsti pogonskog sustava i broju motora .....	6
<b>Grafikon 4.</b> Podjela kontrolne skupine u kategorije prema vrtložnoj turbulenciji.....	9
<b>Grafikon 5.</b> Podjela kontrolne skupine prema prekategorizaciji.....	11
<b>Grafikon 6.</b> Podjela kontrolne skupine u kategorije prilaza.....	13
<b>Grafikon 7.</b> Vrijednosti TODR-a kontrolne skupine .....	19
<b>Grafikon 8.</b> Utjecaj MTOM-a na TODR .....	20
<b>Grafikon 9.</b> Utjecaj MTOM-a na TODR (prekategorizacija) .....	21
<b>Grafikon 10.</b> Utjecaj pogonskog sustava aviona na TODR .....	22
<b>Grafikon 11.</b> Vrijednosti praktičnih vrhunaca leta kontrolne skupine.....	28
<b>Grafikon 12.</b> Utjecaj pogonskog sustava aviona na praktični vrhunac leta .....	29
<b>Grafikon 13.</b> Vrijednosti doleta kontrolne skupine.....	33
<b>Grafikon 14.</b> Utjecaj pogonskog sustava aviona na dolet.....	34
<b>Grafikon 15.</b> Vrijednosti brzina krstarenja kontrolne skupine.....	36
<b>Grafikon 16.</b> Utjecaj pogonskog sustava aviona na brzinu krstarenja.....	37
<b>Grafikon 17.</b> Analiza odnosa mase aviona i kategorija prilaza.....	42
<b>Grafikon 18.</b> Vrijednosti LDR-a kontrolne skupine .....	44
<b>Grafikon 19.</b> Utjecaj kategorija prilaza na LDR .....	45

## **Popis tablica**

<b>Tablica 1.</b> Kriteriji za podjelu aviona u klase performansi.....	3
<b>Tablica 2.</b> Kriteriji za podjelu zrakoplova prema vrtložnoj turbulenciji.....	8
<b>Tablica 3.</b> Kriteriji podjele zrakoplova u kategorije prilaza.....	12

## **Popis slika**

<b>Slika 1.</b> Faze uzlijetanja aviona .....	14
<b>Slika 2.</b> Sile pri uzlijetanju na primjeru aviona .....	15
<b>Slika 3.</b> Raspoložive duljine pri uzlijetanju .....	17
<b>Slika 4.</b> Sile pri penjanju.....	24
<b>Slika 5.</b> Brzine pri penjanju .....	25
<b>Slika 6.</b> Sile pri krstarenju.....	30
<b>Slika 7.</b> Sile pri spuštanju .....	38
<b>Slika 8.</b> Faze slijetanja aviona.....	40

## Prilog 1. Popis aviona kontrolne skupine

Redni broj	ICAO oznaka	Puni naziv
1.	A306	Airbus A300-600
2.	A310	Airbus A310
3.	A319	Airbus A319
4.	A320	Airbus A320
5.	A321	Airbus A321
6.	A332	Airbus A330-200
7.	A342	Airbus A340-200
8.	A343	Airbus A340-300
9.	A388	Airbus A380-800
10.	AT42	ATR 42-200
11.	AT72	Alenia ATR-72
12.	B463	British Aerospace Bae-146-300
13.	B733	Boeing 737-300
14.	B734	Boeing 737-400
15.	B735	Boeing 737-500
16.	B736	Boeing 737-600
17.	B737	Boeing 737-700
18.	B738	Boeing 737-800
19.	B744	Boeing 747-400
20.	B752	Boeing 757-200
21.	B753	Boeing 757-300
22.	B762	Boeing 767-200
23.	B763	Boeing 767-300ER
24.	C150	Cessna 150
25.	C172	Cessna 172 Skyhawk
26.	C210	Cessna 210 Centurion
27.	C25C	Cessna Citation CJ4
28.	C550	Cessna Citation 550
29.	C560	Cessna 560 Citation 5 Ultra Encore
30.	CL60	Canadair Challenger
31.	CRJ7	Canadair RJ-700 Regional Jet
32.	DC10	McDonnell Douglas DC-10
33.	DH8D	Dash 8 Q 400
34.	F100	Fokker 100
35.	F50	Fokker 50
36.	F70	Fokker 70
37.	MD11	McDonnell Douglas MD-11
38.	MD81	McDonnell Douglas MD-81
39.	PA18	Piper L-18C
40.	PAY2	Piper Cheyenne-2
41.	SB37	Saab Viggen-37
42.	T154	Tupolev Tu-154

## Prilog 2. Podjela aviona kontrolne skupine u kategorije

Redni broj	ICAO oznaka	Pogonski sustav	Kategorija prema vrtložnoj turbulenciji	Prekategorizacija	Kategorija prilaza	Klasa performansi
1.	A306	2J	H	C	C	A
2.	A310	2J	H	C	C	A
3.	A319	2J	M	D	C	A
4.	A320	2J	M	D	C	A
5.	A321	2J	M	D	C	A
6.	A332	2J	H	B	C	A
7.	A342	4J	H	B	D	A
8.	A343	4J	H	B	D	A
9.	A388	4J	H	A	C	A
10.	AT42	2T	M	E	B	A
11.	AT72	2T	M	E	B	A
12.	B463	4J	M	E	C	A
13.	B733	2J	M	E	C	A
14.	B734	2J	M	E	C	A
15.	B735	2J	M	E	C	A
16.	B736	2J	M	D	C	A
17.	B737	2J	M	D	C	A
18.	B738	2J	M	D	D	A
19.	B744	4J	H	B	D	A
20.	B752	2J	M	C	C	A
21.	B753	2J	M	C	D	A
22.	B762	2J	H	C	C	A
23.	B763	2J	H	C	C	A
24.	C150	1P	L	F	A	B
25.	C172	1P	L	F	A	B
26.	C210	1P	L	F	A	B
27.	C25C	2J	M	F	B	A
28.	C550	2J	L	F	B	A
29.	C560	2J	M	F	B	A
30.	CL60	2J	M	E	C	A
31.	CRJ7	2J	M	E	C	A
32.	DC10	3J	H	C	D	A
33.	DH8D	2T	M	E	C	A
34.	F100	2J	M	E	C	A
35.	F50	2T	M	E	B	A
36.	F70	2J	M	E	B	A
37.	MD11	3J	H	C	D	A
38.	MD81	2J	M	D	C	A
39.	PA18	1P	L	F	A	B
40.	PAY2	2T	L	F	B	B
41.	SB37	1J	M	E	B	A
42.	T154	3J	M	D	C	A



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni rad  
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na  
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz  
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj  
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada  
pod naslovom **Analiza performansi aviona značajnih za rad kontrolora zračnog  
prometa**

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

U Zagrebu, 4.9.2021

Student/ica:

Dora Poljak  
(potpis)