

# Prijedlog sustava za praćenje emisija zrakoplova s klipnim motorom u Republici Hrvatskoj

---

**Bajlo, Dino**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2018**

*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:119:677460>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-24**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Dino Bajlo

PRIJEDLOG SUSTAVA ZA PRAĆENJE EMISIJA  
ZRAKOPLOVA S KLIPNIM MOTOROM U  
REPUBLICI HRVATSKOJ

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2017.

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

Zagreb, 20. rujna 2018.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**  
Predmet: **Zrakoplovne emisije**

**DIPLOMSKI ZADATAK br. 4637**

Pristupnik: **Dino Bajlo (0035177051)**  
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Prijedlog sustava za praćenje emisija zrakoplova s klipnim motorom u Republici Hrvatskoj**

**Opis zadatka:**

Analizirati javni registar zrakoplova Republike Hrvatske s naglaskom na zrakoplove s klipnim motorom. Prikupiti podatke o naletu zrakoplova s klipnim motorom od operatora zrakoplova iz registra. Na temelju prikupljenih podataka definirati tipične profile leta operatora koji izvode različite vrste operacija, primjerice školovanje, sportsko rekreativno letenje i druge operacije iz zraka te izračunati emisije štetnih plinova za određeni period. Dati prijedlog sustava za praćenje emisija.

Zadatak uručen pristupniku: 24. travnja 2018.  
Rok za predaju rada: 20. rujna 2018.

Mentor:



---

izv. prof. dr. sc. Anita Domitrović

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **DIPLOMSKI RAD**

PRIJEDLOG SUSTAVA ZA PRAĆENJE EMISIJA  
ZRAKOPLOVA S KLIPNIM MOTOROM U  
REPUBLICI HRVATSKOJ

PROPOSAL OF THE PISTON ENGINE  
AIRCRAFT EMISSIONS MONITORING SYSTEM  
IN REPUBLIC OF CROATIA

Mentor: Izv.prof.dr.sc. Anita Domitrović

Student: Dino Bajlo  
JMBAG: 0035177051

Zagreb, rujan 2018.

## SAŽETAK

U ovom radu je objašnjena metodologija izračuna i praćenja emisija klipnih zrakoplova u Republici Hrvatskoj. Analiziran je Hrvatski Registar civilnih zrakoplova, a nakon toga je obrađen prikupljeni nalet i utrošeno gorivo za razdoblje od 1. travnja 2017. godine do 1. travnja 2018. godine. Definirana su tri tipična profila leta. Pomoću dobivenih podataka iz analize naleta i definiranih profila leta napravljen je izračun količine emisija te je na kraju rada obavljena analiza dobivenih rezultata.

## KLJUČNE RIJEČI

emisije, ispušni plinovi, registar zrakoplova, klipni motor

## SUMMARY

In this thesis, a methodology for calculating and monitoring of aircraft piston engine emissions is explained. The Croatian Civil Aviation Register was analyzed. After that, collected flight hours data is analyzed. Three typical flight profiles are defined. With the results from the analysis, prediction about aircraft piston engine emissions in Croatia is given.

## KEYWORDS

engine emissions, exhaust gases, aircraft register, piston engine

# SADRŽAJ

1. Uvod .....	1
2. Praćenje emisija štetnih plinova u zrakoplovstvu .....	3
2.1. Regulatorna vezana za emisije štetnih plinova u zrakoplovstvu .....	3
2.2. Dosadašnja istraživanja i projekti vezani za emisije zrakoplovnih klipnih motora .....	5
3. Analiza registra zrakoplova Republike Hrvatske .....	7
3.1. Tipovi zrakoplova .....	7
3.2. Vlasnička struktura u Registru zrakoplova Republike Hrvatske .....	10
3.3. Regionalna rasprostranjenost zrakoplova iz Registra zrakoplova Republike Hrvatske .....	10
4. Prikupljanje podataka o naletu i analiza naleta zrakoplova generalne avijacije u Republici Hrvatskoj .....	12
5. Definiranje tipičnog profila leta zrakoplova generalnog zrakoplovstva .....	16
5.1. Školsko letenje .....	19
5.2. Rutno letenje .....	23
5.3. Padobranski letovi .....	25
6. Proračun emisija .....	28
6.1. Osnove izgaranja .....	28
6.3. Utjecaj ispušnih plinova na atmosferu .....	30
6.2. Proračun količine emisija .....	31
7. Zaključak .....	41
Literatura .....	43
Popis slika .....	45
Popis grafikona .....	46
Popis tablica .....	47

# 1. Uvod

Svi sustavi koji za svoj pogon koriste neki od izgaranje fosilnih goriva, ispuštaju u atmosferu određenu količinu štetnih plinova. Svi štetni plinovi kao što su ugljikov monoksid, ugljikov dioksid, dušični oksidi, sumporovi oksidi i ugljikovodici imaju štetni utjecaj na ljudsko zdravlje. Prve ideje o potrebi smanjena emisije takvih plinova pojavljuju se nakon Drugog svjetskog rata, a unatrag nekoliko desetaka godina istraživanja na tom polju dosežu svoj vrhunac.

Potrošnja goriva u zrakoplovstvu predstavlja značajan udio ukupne potrošnje goriva. Emisije štetnih plinova vezane za velike mlazne zrakoplove su dobro regulirane i značajno se istražuju, o čemu svjedoči puno dostupne stručne i znanstvene literature na temu emisija zrakoplova s mlaznim motorom. Za razliku od toga, emisije štetnih plinova kod klipnih zrakoplovnih motora su gotovo neistražene i uopće nisu pokrivena zakonskom regulativom. S druge strane, za cestovna prijevozna sredstva s klipnim motorom, emisije su strogo regulirane, a značajni naponi proizvođača i znanstvene zajednice ulažu se u istraživanja s ciljem smanjenja emisija cestovnih vozila.

Količina emisija u zrakoplovstvu znatno varira s obzirom na faze leta kao što su polijetanje, penjanje, krstarenje, spuštanje i slijetanje. U tim fazama motor se nalazi u različitim režimima snage, a time je i potrošnja goriva različita, što dovodi do različite količine emisija štetnih plinova.

Cilj ovog rada je istraživanje količine emisija na temelju kojeg će se procijeniti ukupna količina emisija s obzirom na količinu potrošenog goriva zrakoplova s klipnim motorom u Republici Hrvatskoj. Na temelju nekoliko različitih profila leta napraviti će se usporedba utjecaja emisija štetnih plinova za svaki od tih profila.

Ovakvom metodologijom mogu se dobiti aproksimativni rezultati sa relativno zadovoljavajućom točnošću. Ovakav način praćenja emisija je podoban za daljnje usavršavanje u svrhu dobivanja što točnijeg i što jednostavnijeg načina procjene količine emisija štetnih plinova.

Rad je strukturiran u sedam poglavlja. Nakon uvoda, u drugom dijelu rada predstavljena je postojeća regulativa vezana za emisije štetnih plinova, kako na svjetskoj, tako i na europskoj razini. Uz to, dan je pregled dostupne regulative u Republici Hrvatskoj koja se bavi emisijama štetnih tvari u atmosferu. U trećem poglavlju razrađena je analiza Registra zrakoplova Republike Hrvatske za promatrano razdoblje od 1. travnja 2017. godine do 1. travnja 2018. godine. Nakon te analize, u četvrtom poglavlju je objašnjen način evidencije i prikupljanja naleta zrakoplova iz Registra Zrakoplova Republike Hrvatske. Obraden je prikazan prikupljeni nalet. U petom poglavlju definirani su tipični profili leta i određeni su njihovi potrebni parametri za daljnji rad, odnosno proračun emisija. U predzadnjem poglavlju objašnjene su osnove izgaranja, prikazana je metodologija izračuna emisija i predstavljeni su dobiveni rezultati količine emisija za svaki pojedini profil leta, odnosno prikazana je i dobivena procjena ukupnih emisija štetnih plinova na razini Republike Hrvatske. U zaključku su predstavljena završna razmatranja o ovoj temi s obzirom na dobivene rezultate.



## 2. Praćenje emisija štetnih plinova u zrakoplovstvu

Najčešće pogonsko gorivo motora današnjih prijevoznih sredstava su naftni derivati. Karakteristika takvih goriva je velika količina štetnih plinova koji se kao posljedica izgaranja ispuštaju u atmosferu. Tijekom 1950ih i 1960ih godina dolazi do prvih mjerenja sastava zraka u svrhu analize onečišćenja zraka. U tom vremenu regulativa vezana za emisije štetnih plinova je u početnoj fazi razvoja. To su najčešće bili dokumenti na lokalnoj, dok vrlo rijetko na državnoj razini. Prve institucije specijalizirane za emisije štetnih plinova nastaju u Sjedinjenim Američkim Državama tijekom 1970ih godina prošlog stoljeća. Za cestovni promet postoji vrlo dobro razvijena regulativa koja ima svrhu smanjenje štetnih plinova [1].

Avioni su jedan od „onečišćivača“ okoliša štetnim plinovima. Sustav praćenja emisija u avijaciji postoji samo za mlazne avione u komercijalnom prometu koji koriste mlazno gorivo, dok za avione generalne avijacije on ne postoji. Jedan od razloga zašto je to tako je što glavninu potrošenog goriva u zrakoplovstvu čini gorivo potrošeno u komercijalnoj mlaznoj avijaciji. Generalno zrakoplovstvo, koje u glavnini čine mali jednomotorni zrakoplovi s klipnim motorom, ne predstavlja značajni udio u ukupnim emisijama i do sada se na znanstvenom polju tom problemu nitko nije značajnije posvetio. Danas u svijetu postoji otprilike 320000 aviona generalne avijacije [2]. Pogonsko gorivo za avionske klipne motore, karakteristične za generalnu avijaciju, je najčešće avionski benzin, tipa Avgas 100LL, a postoje i motori koji koriste i motorni benzin (najčešće Eurosuper 95), te dizel gorivo [3]. Osnovni onečišćivači koji se mjere u štetnim emisijama su ugljični monoksid, dušični oksidi i ugljikovodici. Za razliku od klasičnih benzina, ova vrsta goriva ima vrlo veliki udio tetraetil olova (TEL) [2]. Za razliku od velikih mlaznih motora na putničkim zrakoplovima, koji su iz godine u godinu sve čišći, tehnologija zrakoplovnih klipnih motora je ostala gotovo nepromijenjena od 60ih godina prošlog stoljeća.

### 2.1. Regulativa vezana za emisije štetnih plinova u zrakoplovstvu

Prvi dokument vezan za zaštitu ozonskog omotača je Protokol iz Montreala. On daje smjernice za smanjenje štetnih plinova koji oštećuju ozonski omotač. Potpisan je na konferenciji od 14. do 16. rujna 1987. godine, a na snazi je od 1. siječnja 1989. [4].

Danas osnovni dokument kojim su definirane smjernice za smanjenje štetnih plinova je Protokol iz Kyota. Potpisan je 11. prosinca 1997. godine, a stupio je na snagu 16. veljače 2005. godine. To je dokument koji definira potrebne promjene u svrhu smanjenja emisija stakleničkih plinova u svijetu. Osnovna težnja je smanjenje četiri vrste stakleničkih plinova (ugljični dioksid, metan, dušični oksid, sumporov hexafluorid) i dvije grupe plinova (flourugljikovodike i perflourugljikovodike). Do danas su Kyoto protokol potpisale 83 države, a prihvatile 192 države. Emisije zrakoplovstva su do danas ostale izuzete iz Kyoto protokola. Hrvatska je potpisnik protokola iz Kyota, ali ga još nije ratificirala. Glavni razlog odbijanja ratificiranja su nesuglasice oko količine emisija „bazne godine“ [5].

U Republici Hrvatskoj osnovni dokumenti su Zakon o zaštiti zraka (NN178/04) i Nacionalna strategija zaštite okoliša (NN46/02). Također, postoji Uredba o praćenju emisija stakleničkih plinova, politike i mjera za njihovo smanjenje u Republici Hrvatskoj (NN 05/17). Svi navedeni dokumenti se bave općenitim smanjenjem emisija stakleničkih plinova kako je propisano u protokolu iz Kyota. Trenutno ne postoje dokumenti koji se specifično bave emisijama u zrakoplovstvu [6].

Krovna organizacija civilnog zrakoplovstva ICAO (*International Civil Aviation Organization*) kao jednu od svojih misija navodi ulaganje u razvoj ekologije [7]. To ulaganje usmjerava u dva smjera. Jedno je smanjenje utjecaja buke, a drugo smanjenje emisija štetnih plinova. Temeljni dokument o zrakoplovnim emisijama u zrakoplovstvu je ICAO Dodatak 16 – „Zaštita okoliša“ [8]. Taj dodatak se sastoji od dva dijela, prvi dio je regulativa vezana za buku zrakoplova, a drugi dio je regulativa vezana za emisije štetnih plinova u zrakoplovstvu. S obzirom na tematiku ovog rada važno je napomenuti da se dio II ovog dodatka bavi samo sustavom mjerenja i praćenja emisija za zrakoplove s turbomlaznim motorima s potiskom većim od 26.7 kN [7]. Sadašnje aktivnosti ICAO-a provode se putem Odbora za zaštitu okoliša od zrakoplovnih djelovanja (CAEP - *Committee on Aviation Environmental Protection*) koji je osnovan na Vijeću ICAO-a 1983. godine i kojim su ujedinjeni CAN (*Committee on Aircraft Noise*) i CAEE (*Committee on Aircraft Engine Emissions*), tj. Odbor za buku i Odbor za emisije zrakoplovnih motora. Odbor sudjeluje u formuliranju nove politike i u prihvaćanju novih standarda u vezi s bukom zrakoplova i emisijama zrakoplovnih motora [9].

## 2.2 Dosadašnja istraživanja i projekti vezani za emisije zrakoplovnih klipnih motora

Kako je u ovom radu već rečeno, emisije zrakoplovnih klipnih motora nisu detaljno istraživane. Udio potrošnje goriva klipnih motora u odnosu na ukupnu potrošnju u zrakoplovstvu je vrlo malen. Iz tog razloga emisijama takvih motora se do danas nije pridavala velika pažnja. Sva značajnija istraživanja provedena su u razvijenijim zemljama. Takve zemlje s većim financijskim mogućnostima si mogu priuštiti takve projekte.

Prva istraživanja se već provode tijekom 70ih godina 20. stoljeća u Sjedinjenim Američkim Državama. U tim istraživanjima mjerene su razine emisija kod tada najpopularnijih zrakoplovnih klipnih motora. Mjerenja su vršena u raznim režimima leta u svrhu određivanja utjecaja emisija u određenim fazama leta [2].

U Europi Švicarska je do sada najviše uložila u ovo područje. Prema švicarskom Zakonu o zrakoplovstvu (SR 748.0, LFG Art 58.) emisije svih zrakoplovnih motora moraju biti mjerene i praćene. Švicarska agencija za civilno zrakoplovstvo (FOCA) 2002. godine započinje s projektom ECERT (Emission Certification). Osnovna ideja projekta je bila dobivanje emisijskih faktora, odnosno certificiranje emisija. Za potrebe tog projekta osmišljen je sustav za mjerenje na samom zrakoplovu.

Projekt ACRP (Airport Cooperative Research Program) je projekt sličan projektu Švicarske agencije za civilno zrakoplovstvo, samo za razliku od tog projekta, ovaj se bavi znatno većim brojem različitih motora te je općenito iscrpniji [10].

U Hrvatskoj radovi na temu istraživanja emisija u zrakoplovstvu su u samom začetku. Postoji pet radova na tu temu, i to s Fakulteta strojarstva i brodogradnje i s Fakulteta prometnih znanosti [11], [12], [13], [14], [15], [16].

Jedan od prvih radova je rad pod nazivom „Onečišćenje okoliša ispušnim plinovima mlaznih motora i zakonske mjere“ [11] u kojem autor Bazijanac daje osnovne podatke o zrakoplovnim emisijama i o tadašnjoj regulativi vezanoj za emisije štetnih plinova u zrakoplovstvu.

U radu „Onečišćenje zraka ispušnim plinovima zrakoplovnih motora“ [12] s Drugog simpozija zrakoplovne medicine autori Golubić, Missoni, Božićević i Kovač daju procijene količine emisija mlaznih zrakoplova na svjetskoj razini, te je predstavljena regulativa.

U radu „Smjernice razvoja zakonskih propisa glede emisija štetnih i neštetnih tvari iz prometa u Europskoj uniji“ [13] autori Golubić, Vogrin i Kaštela predstavljaju norme vezane za emisije mlaznih zrakoplova u Europskoj uniji. Rad se ne bavi isključivo zrakoplovstvom, već obrađuje i regulativu Europske unije vezanu za emisije štetnih plinova.

Rad sa Fakulteta strojarstva i brodogradnje „Emissions from General Aviation in the Republic of Croatia“ [14] autora Srage i Lulića predstavlja metodologiju procjene emisija štetnih plinova za klipne zrakoplove.

U radu „Measurement and Analysis of an Aircraft Piston Engine Exhaust Gasses“ [15] autori Poljačić, Bazijanac i Domitrović predstavljaju način mjerenja ispušnih plinova malog zrakoplova. Dane su smjernice za eventualni daljnji razvoj takvih sustava.

Rad „Review of Aircraft Fuel Efficiency Measures“ [16] autora Švragulja i Domitrović sa konferencije ZIRP objašnjava povezanost ekonomičnog i učinkovitog korištenja goriva u mlaznom zrakoplovstvu i ekologije u zrakoplovstvu.

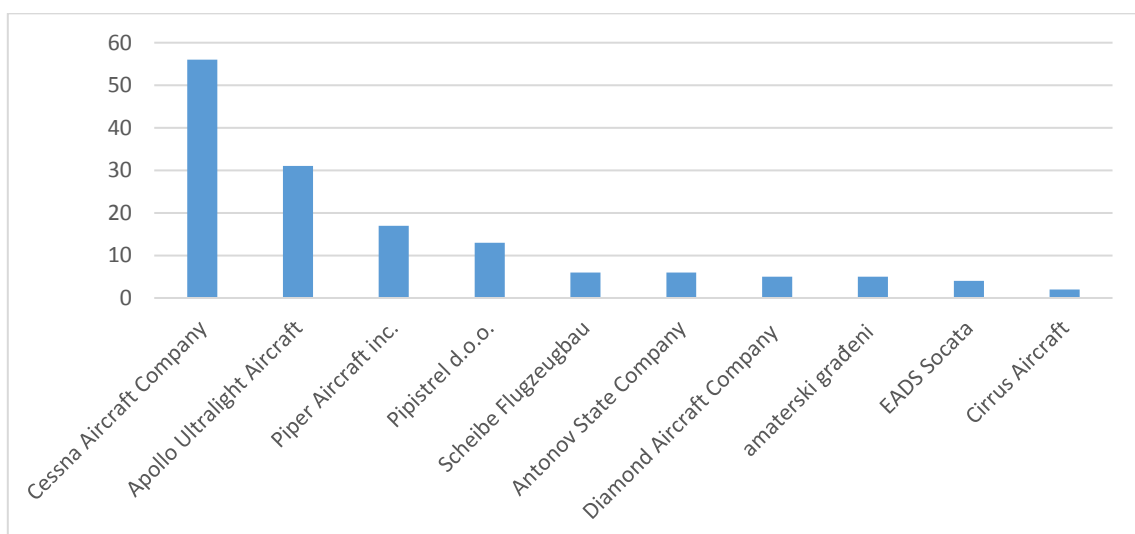
### 3. Analiza registra zrakoplova Republike Hrvatske

Registar zrakoplova Republike Hrvatske je temeljni dokument koji sadrži podatke o svim zrakoplovima registriranim u Republici Hrvatskoj. Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo je organizacija zadužena za vođenje registra. Nadležnost HACZ-a za registar određena je Zakonom o zračnom prometu (NN 69/09, 84/11, 54/13, 127/13, 92/14; članak 5., stavak 7., točka 7.) Sadržaj i način vođenja Registra definiran je Pravilnikom o sadržaju i načinu vođenja Hrvatskog registra civilnih zrakoplova (NN 137/12) [17].

Za potrebe ovog rada analizirat će se registar zrakoplova sa stanjem 01.04.2018. godine. U registru je ukupno zavedeno tristo i četrnaest zrakoplova. Od ukupnog broja, klipnih zrakoplova je dvjesto i četiri primjerka, a u ostalih sto i deset zrakoplova spadaju mlazni zrakoplovi, helikopteri, jedrilice i baloni na vrući zrak [18].

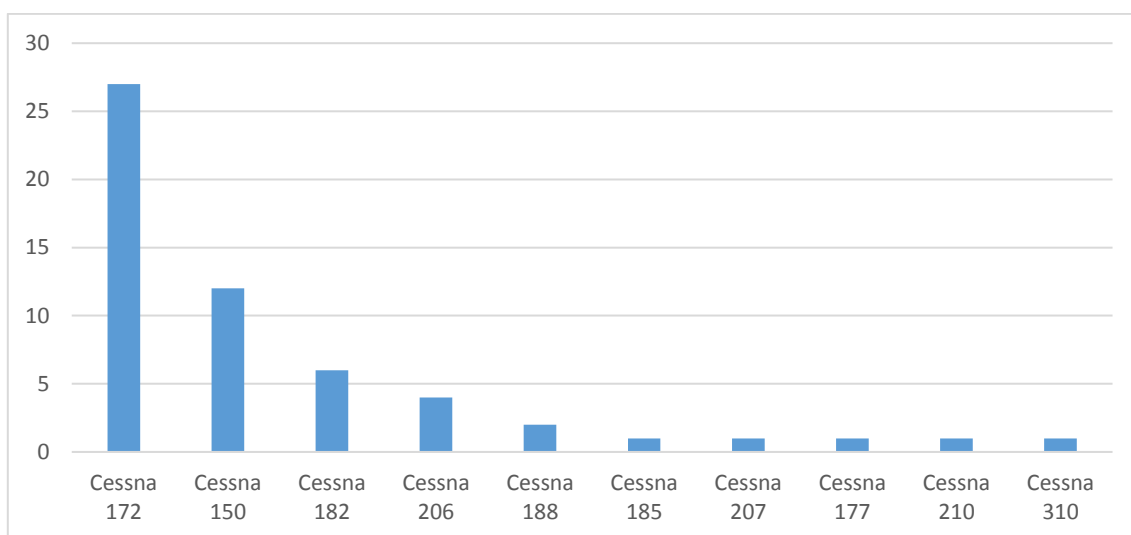
#### 3.1 Tipovi zrakoplova

S obzirom na popularnost, najzastupljeniji su zrakoplovi proizvođača Cessna (pedeset i šest primjeraka) (Grafikon 1.)



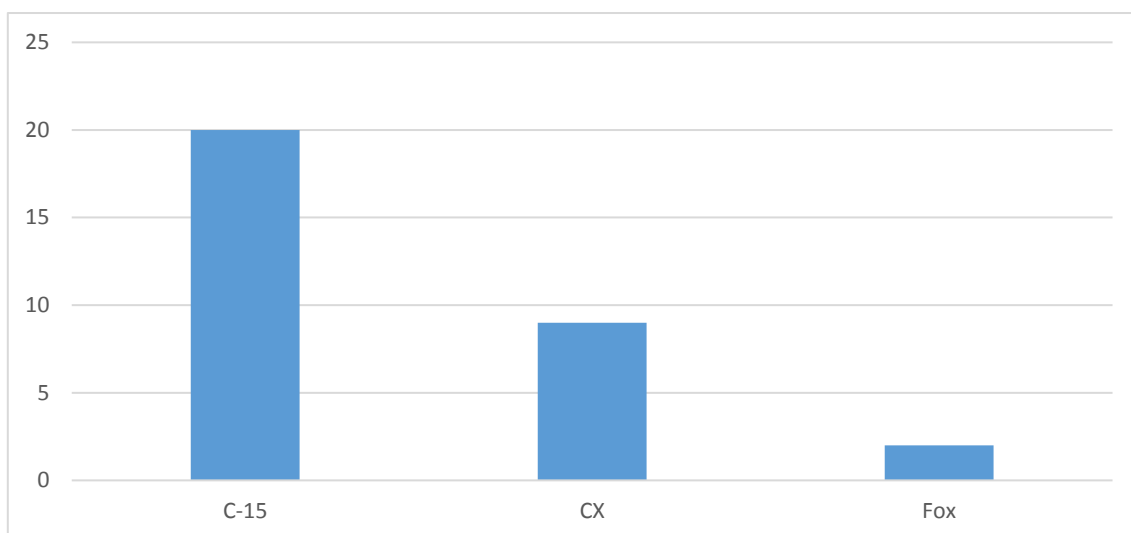
**Grafikon 1.** Proizvođači zrakoplova

Drugi najzastupljeniji proizvođač je mađarski proizvođač ultralakih zrakoplova Apollo Ultralight Aircraft (trideset i jedan primjerak). Treći najzastupljeniji proizvođač, kao vrlo značajan predstavnik generalnog zrakoplovstva, je Piper Aircraft Inc. (sedamnaest primjeraka) Četvrti je proizvođač, također predstavnik proizvođača ultralakih zrakoplova, Pipistrel d.o.o. (trinaest primjeraka). Ostali proizvođači su zastupljeni s manje od deset primjeraka. To su redom Scheibe Flugzeugbau, Antonov, Diamond Aircraft Company, amaterski građeni, EADS Socata i Cirrus Aircraft. Također, još je jako velik broj proizvođača koji su zastupljeni s jednim ili dva primjerka i u ovom odlomku rada neće biti posebno spomenuti.



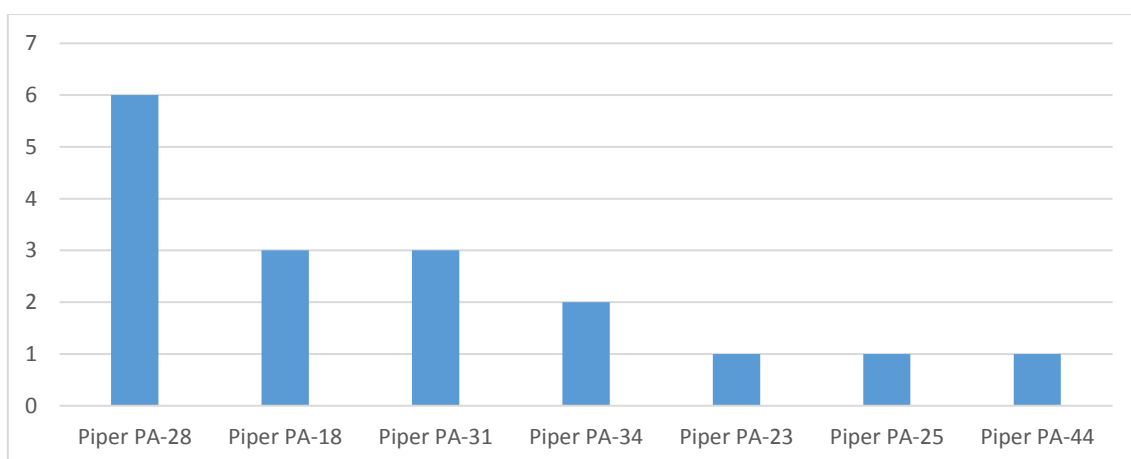
**Grafikon 2.** Zrakoplovi proizvođača Cessna

Od ukupno pedeset i šest primjeraka zrakoplova proizvođača Cessna, najzastupljeniji su modeli Cessna 172 (dvadeset i sedam primjeraka) i Cessna 150 (dvanaest primjeraka). Ostalih modela je značajno manje (šest primjeraka Cessna 182, četiri primjerka Cessna 206, dva primjerka Cessna 188, te po jedan primjerak Cessna 185, Cessna 207, Cessna 177, Cessna 210 i Cessna 310). (Grafikon 2.) Zrakoplovi ovog proizvođača su vrlo popularni školski zrakoplovi. Osim za školovanje, modeli ovog proizvođača se vrlo često koriste i za padobranske i panoramske letove.



**Grafikon 3.** Zrakoplovi proizvođača Apollo Ultralight Aircraft

U drugu grupu najzastupljenijih proizvođača spada mađarski proizvođač ultralakih zrakoplova Apollo Ultralight Aircraft. Zastupljen je s ukupno trideset i jednim primjerkom. Najzastupljeniji je model C-15 u nekoliko podvarijanti (dvadeset primjeraka), slijedi model CX s nekoliko podvarijanti (devet primjeraka) i model Fox u dva primjerka. (Grafikon 3.)



**Grafikon 4.** Zrakoplovi proizvođača Piper

Treću grupu najzastupljenijih proizvođača predstavlja Piper Aircraft Inc. sa sedamnaest primjeraka. To je drugi tipični predstavnik zrakoplova generalne avijacije. Najzastupljeniji je model PA-28 sa šest primjeraka. Slijedi vrlo popularni sportski

zrakoplov PA-18 Super Cub, u Hrvatskoj najčešće korišten za potrebe vuče jedrilica u aeroklubovima. Ostali modeli proizvođača Piper su zastupljeni u jednom ili dva primjerka. (Grafikon 4.)

### 3.2 Vlasnička struktura u Registru zrakoplova Republike Hrvatske

Najveći broj zrakoplova u Registru se nalazi u privatnom vlasništvu pojedinih fizičkih osoba (sto i četiri zrakoplova). Ostali zrakoplovi su u vlasništvu pravnih osoba te se koriste za različite namjene.



**Grafikon 5.** Vlasnička struktura zrakoplova u Republici Hrvatskoj

Od značajnijih pravnih osoba tu je Air Tractor d.o.o. sa šest zrakoplova i Fakultet prometnih znanosti s pet zrakoplova. Ostale pravne osobe imaju tri zrakoplova ili manje, te u ovom radu neće biti posebno pobrojane. (Grafikon 5.).

### 3.3 Regionalna rasprostranjenost zrakoplova iz Registra zrakoplova Republike Hrvatske

S obzirom na poznavanje podataka o vlasništvu zrakoplova kojima su vlasnici pravne osobe, u ovom odlomku bit će analizirana regionalna rasprostranjenost



zrakoplova u Republici Hrvatskoj. S obzirom na nemogućnost prikupljanja podataka o fizičkim osobama vlasnicima, oni će biti isključeni iz ove analize.

Za potrebe ove analize zrakoplovi su svrstani u četiri regije:

- Sjeverozapadna Hrvatska
- Slavonija
- Istra i Kvarner
- Dalmacija



**Grafikon 6.** Regionalna rasprostranjenost klipnih zrakoplova

Iz dobivenih rezultata vidljivo je da je većina klipnih zrakoplova stacionirana u sjevernom dijelu zemlje. (Grafikon 6.) Jedan od razloga tome je što su klipni zrakoplovi najčešće stacionirani na manjim aerodromima. U Hrvatskoj većina malih aerodroma nalazi se na području sjeverozapadne Hrvatske i Slavonije. Uočljivo je da je više zrakoplova stacionirano u Slavoniji nego u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Jedan od razloga je jako velika popularnost ultra-lakih zrakoplova na području Slavonije. Takvi zrakoplovi su često cjenovno prihvatljivi za privatnu upotrebu što je razlog takve popularnosti i velikog broja.

## 4. Prikupljanje podataka o naletu i analiza naleta zrakoplova generalne avijacije u Republici Hrvatskoj

Osnovni podaci o zrakoplovu koji se evidentiraju tijekom eksploatacije su sati leta i broj operacija. Sati leta su vremenski period od paljenja motora do gašenja motora zrakoplova. Broj operacija predstavlja broj polijetanja odnosno slijetanja zrakoplova. Ova dva parametra su vrlo važna u planiranju održavanja zrakoplova.

Propisani način evidentiranja podataka o eksploataciji zrakoplova je redovito vođenje, odnosno upisivanje podataka u tehničku knjižicu zrakoplova (*Technical Logbook* - TLB). Propisani su elementi koje tehnička knjižica zrakoplova mora sadržavati, dok precizni izgled same knjižice nije precizno definiran (Slika 1.). Tehnička knjižica zrakoplova se može voditi u papirnatom ili elektronskom obliku [19].

9A - _____		1. Let / 1st Flight		2. Let / 2nd Flight		3. Let / 3rd Flight		4. Let / 4th Flight		5. Let / 5th Flight		6. Let / 6th Flight	
Predpoletni pregled <i>Pre-flight inspection</i>													
Ime Pilot a i potpis <i>PIC Name &amp; Sign</i>													
Imena članova posade <i>Names of Crew Members</i>													
Qty goriva / dopuna <i>Fuel Qty / Uplift</i>		/		/		/		/		/		/	
Dopuna ulja <i>Oil Refill</i>		LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH	LH	RH
(quarts)													

L E T	Datum <i>Date</i>	Priroda leta <i>Nature of Flight</i>	Br. putnika <i>No of Pax</i>	Polijetanje / <i>Departure</i>		Slijetanje / <i>Arrival</i>		Vrijeme leta <i>Flight Time</i>		Ukupan nalet <i>Total Utilization</i>			Stanje Taho <i>Tacho Time</i>		Ciklusi motora <i>Engine Cycles</i>	
				Mjesto <i>Place</i>	Vrijeme <i>Time</i>	Mjesto <i>Place</i>	Vrijeme <i>Time</i>	Sati <i>Hrs</i>	Min. <i>Min.</i>	Sati <i>Hrs</i>	Min <i>Min</i>	Letova <i>Flights</i>	Sati <i>Hrs</i>	Min <i>Min</i>	Motor 1 <i>Eng. 1</i>	Motor 2 <i>Eng. 2</i>
Donos podataka s prethodne strane / Forward from previous page =>																
1																
2																
3																
4																
5																
6																
Ukupan broj sati i letova (prenijeti na sljedeću stranu) / Total Hours & Flights (forward to next page) =>																

Primjedbe <i>Defects noted</i>	Opis poduzetih radnji <i>Actions taken</i>	Datum <i>Date</i>	Ime i Prezime <i>Name &amp; Surname</i>
		Vraćanje u upotrebu <i>Release to Service (1)</i> <input type="checkbox"/> Part 145 <input type="checkbox"/> Part M Subpart F <input type="checkbox"/> Part 66 mechanic <input type="checkbox"/> Pilot-owner	
			Potpis / Sign

(1) Potvrđuje da su specifikirani radovi / ograničeno održavanje vlasnika\* osim ako nije drugačije specifikirano obavljeno u skladu s Part-om 145\* / Part-om M\* i da se u odnosu na te radove zrakoplov smatra spremnim za vraćanje u upotrebu  
*Certifies that the work / limited pilot-owner maintenance\* specified except as otherwise specified was carried out in accordance with Part 145\* / Part M\* and in respect to that work the aircraft is considered ready for release to service.*

Stranica 7

Slika 1. Primjer stranice tehničke knjižice zrakoplova [19]

Nakon izvršene analize registra koja je obrađena u trećem poglavlju pristupilo se prikupljanju podataka o naletu. Prikupljanje je vršeno neposrednim kontaktiranjem vlasnika zrakoplova u svrhu dobivanja potrebnih podataka. S obzirom na nemogućnost pristupa podacima o fizičkim osobama koje su vlasnici zrakoplova, jer takvi podaci nisu javno dostupni u registru zrakoplova, nalet tih zrakoplova nije uziman u obzir za proračun emisija u ovom radu. Promatran je nalet za razdoblje od 1. travnja 2017. godine do 1. travnja 2018. godine. Prikupljen je i obrađen jedan dio naleta za promatrano razdoblje.

Prikupljen je i obrađen nalet od tri operatera zrakoplova iz Registra zrakoplova RH. Sva tri operatera se bave komercijalnim zračnim prijevozom, ali s tri potpuno različite vrste operacija. Prvi operater se bavi školovanjem pilota u RH, drugi se bavi komercijalnim prijevozom putnika, dok treći operater nudi usluge avanturističkog turizma te u svojoj ponudi ima skokove padobranom. Ukupni prikupljeni nalet čini dvije tisuće sto i sedamdeset sati i četrdeset i pet minuta naleta, odnosno pet tisuća tristo četrdeset i četiri operacija. (Tablica 1. **Tablica 1.** Prikupljeni nalet operatera iz Republike Hrvatske)

**Tablica 1.** Prikupljeni nalet operatera iz Republike Hrvatske

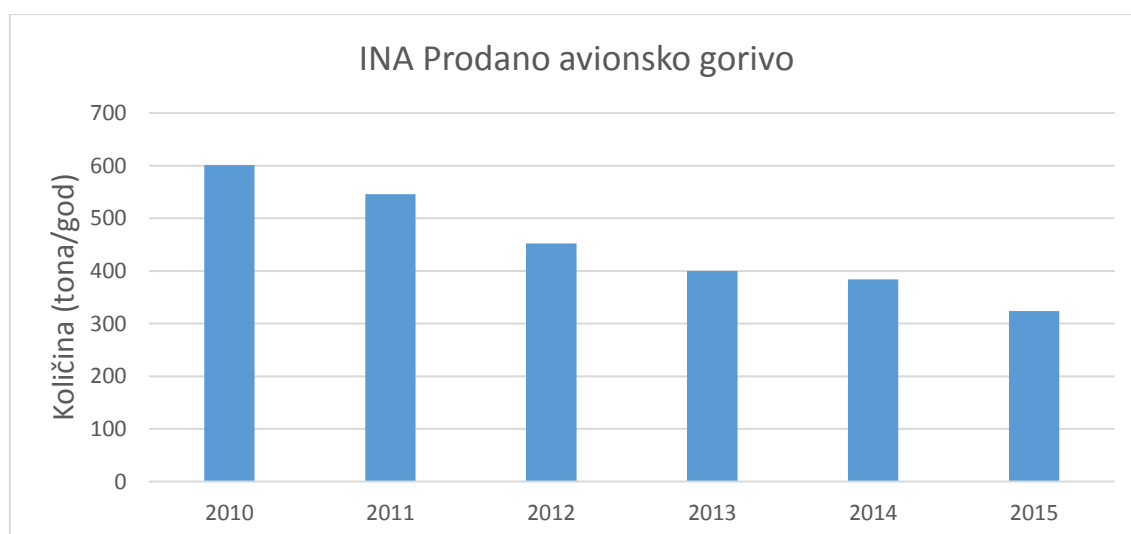
	<b>Sati naleta (h:min)</b>	<b>Broj operacija</b>
Operater 1	1629:10	4306
Operater 2	301:30	612
Operater 3	240:05	426
<b>Ukupno:</b>	2170:45	5344

Uz prikupljene podatke o naletu i operacijama u svrhu detaljnije procijene emisija štetnih plinova prikupljeni su i podaci o utrošenom gorivu od tri ranije navedena operatera. (Tablica 2.)

**Tablica 2.** Ukupno potrošeno gorivo po operaterima

	<b>Ukupno potrošeno gorivo (L)</b>
Operater 1	57304
Operater 2	13217
Operater 3	21125
<b>Ukupno:</b>	91646

Podaci o prodanom gorivu za promatrano razdoblje od INA-e nisu bili dostupni do kraja ovog rada. Za potrebe procijene ukupnih emisija na razini Republike Hrvatske iskorišteni su podaci o prodanom gorivu za razdoblje od 2010. godine do 2015. godine koji su bili dostupni na temelju prethodnih istraživanja [14]. INA je jedini ponuđač avionskog goriva u Republici Hrvatskoj. Važno je napomenuti da je dio zrakoplova iz Registra opremljen motorima koji mogu koristiti motorni benzin. Motorni benzin nije dostupan na većini velikih aerodroma, već se uglavnom može dobiti samo na manjim aerodromima. Nažalost, podaci o prodanom motornom benzinu za zrakoplovne svrhe ne postoje. Takve podatke je i vrlo teško izračunati s obzirom na to da većina tog motornog benzina nije prodana namjenski za zrakoplovne svrhe. Takvo gorivo na malim aerodromima se najčešće drži u raznim priručnim sredstvima i vrlo često ga se nabavlja na običnim benzinskim postajama.



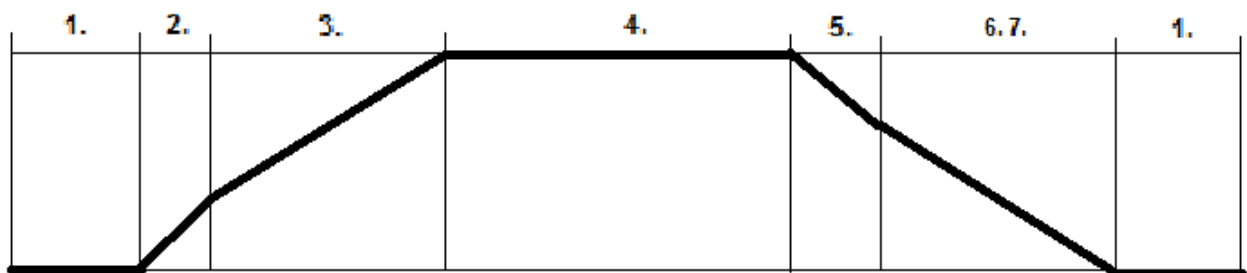
**Grafikon 7.** Ukupno prodano avionsko gorivo za razdoblje od 2010 do 2015. godine

Na grafikonu 7. vidljiva je količina prodanog goriva po godinama. Za potrebe ovog rada uzeta je srednja vrijednost od četiristo pedeset i jedne tone prodanog goriva za razdoblje od jedne godine. Može se uočiti da prikupljeno utrošeno gorivo od tri promatrana operatera od sedamdeset i tri tone predstavlja značajni udio u dobivenom ukupnom iznosu prodanog goriva. S obzirom na broj zrakoplova s kojim ovi operateri raspolažu i ukupni broj zrakoplova u Registru, uočava se da ova tri operatera predstavljaju vrlo aktivne operatere u Republici Hrvatskoj.

## 5. Definiranje tipičnog profila leta zrakoplova generalnog zrakoplovstva

Let zrakoplova se može podijeliti u nekoliko faza. (Slika 2.) Način podjele se razlikuje kod raznih autora. Uobičajeni način podjele leta je na sljedeće faze [20]:

1. Manevriranje na zemlji (*Taxi/Ground idle*)
2. Polijetanje (*Take off*)
3. Penjanje (*Climb*)
4. Krstarenje (*Cruise*)
5. Spuštanje (*Descent*)
6. Prilaženje (*Approach*)
7. Slijetanje (*Landing*)



**Slika 2.** Prikaz faza leta u vertikalnom profilu

Manevriranje na zemlji je faza koja započinje pokretanjem motora zrakoplova na parkirnom mjestu i završava dodavanjem snage motora u svrhu polijetanja. Ta faza ponovno počinje završetkom faze slijetanja nakon usporavanja zrakoplova u svrhu izlaska sa staze i odlaska do parkirne pozicije, a završava gašenjem motora.

Polijetanje je faza koja započinje dodavanjem snage u svrhu započinjanja zaleta za polijetanje i završava na nekoj definiranoj visini. Tijekom te faze motor radi na punoj snazi. Penjanje započinje napuštanjem neke visine i traje dok se avion ne prevede u horizontalni let na nekoj drugoj željenoj višoj visini.

Krstarenje je faza koja je najčešće najzastupljenija faza u letu. U toj fazi zrakoplov je u horizontalnom letu i podešena je definirana snaga za krstarenje. Traje do onog trenutka kada avion prelazi u penjanje ili spuštanje.

Spuštanje je faza koja započinje u trenutku završetka faze krstarenja. Zrakoplov napušta visinu na kojoj se nalazi u svrhu prelaska na neku nižu visinu. Prilaženje je faza u kojoj se zrakoplov nalazi u spuštanju u konfiguraciji za slijetanje. Svrha prilaženja je dovođenje zrakoplova u položaj za početak faze slijetanja. Slijetanje je faza koja započinje na nekoj definiranoj visini iznad aerodroma, a završava usporenjem zrakoplova i napuštanjem uzletno sletne staze [20].

ICAO kao osnovnu metodologiju za procjenu količine emisija za potrebe certifikacije motora koristi LTO (Landing and Takeoff) ciklus. Taj ciklus predstavlja jedan let zrakoplova od pokretanja motora na parkirnoj poziciji do gašenja motora na parkirnoj poziciji. U Sjedinjenim Američkim Državama LTO ciklus se definiran u dokumentu Title 14 CFR Part 34. Prema tom dokumentu, LTO ciklus je definiran samo za mlazne i turboprop zrakoplove [2].

FAA predlaže 2005. godine metodologiju za definiranje LTO ciklusa za zrakoplove generalne avijacije. S obzirom da 69% zrakoplova generalne avijacije predstavljaju klipni zrakoplovi, taj LTO ciklus je prilagođen za klipne zrakoplove [2]. Također, 2007. Švicarska agencija za civilno zrakoplovstvo (FOCA) mjeri emisijske faktore za mnoge poznate motore koji nemaju klasični ICAO emisijski certifikat. Pritom dodatno modificiraju LTO ciklus za zrakoplove generalne avijacije. Ukupna vremena pojedinih faza su izmijenjena i dodaje se pretpostavka da se kod zrakoplova generalne avijacije penjanje vrši sa snagom za polijetanje (Tablica 3.) [2].

Kod komercijalnih letačkih operacija u kojima sudjeluju zrakoplovi s mlaznim motorima faze leta se najčešće mogu poprilično precizno odrediti. Operacije zrakoplova generalne avijacije se u pogledu podataka o fazama mogu znatno razlikovati i teško ih je precizno definirati zbog velikog broja raznolikih vrsta operacija kojima se ti zrakoplovi bave.

**Tablica 3.** Faze LTO Ciklusa [2]

Faza LTO ciklusa	Postavke snage	ICAO – trajanje faze (min)	FOCA – trajanje faze (min)
Polijetanje	100 %	0.7	0.3
Penjanje	85% (100%) <sup>1</sup>	2.2	5.0
Prilaz - slijetanje	30%	4.0	6.0
Manevriranje na zemlji	7%	26.0	16.0

Ranije spomenuti LTO ciklus definiran od strane ICAO-a nije primjenjiv za klipne zrakoplove, dok je LTO ciklus koji je definirala FOCA nešto precizniji za potrebe generalne avijacije [2].

Za potrebe ovog rada definirano je nekoliko tipičnih profila leta:

- Školsko letenje  
Osnovni profil u koji spadaju školski krugovi i letenje u zoni
- Rutno letenje  
U ovaj profil spadaju školski letovi na ruti, privatno i komercijalno rutno letenje
- Padobranski letovi  
Specifičan profil koji se znatno razlikuje u karakteristikama od prethodna dva profila a zastupljen je u ukupnom broj letova u Republici Hrvatskoj

Napravljena je analiza naleta od prikupljenih operatera prethodno opisanih u četvrtom poglavlju. Izvršena je podjela na prethodno određene profile leta. (Tablica 4.).

---

<sup>1</sup> postavka snage za zrakoplove generalne avijacije



**Tablica 4.** Ukupni nalet po profilima leta

	<b>Sati naleta (h:min)</b>	<b>Broj operacija</b>
Školsko letenje	443:40	2290
Rutno letenje	1487:00	2628
Padobranski letovi	240:05	426

## 5.1 Školsko letenje

Školsko letenje je najzastupljeniji profil leta u letovima generalne avijacije, kako u Hrvatskoj tako i u svijetu. U školsko letenje spadaju školski krugovi i letenje u zoni. U analizi školskog kruga i zona koristit će se nalet zrakoplova C-172 u vlasništvu operatera 1. Za potrebe ovog rada, uzet će se da trajanje faze manevriranja na zemlji traje deset minuta. Iz obrađenog naleta, određen je ukupni nalet i broj operacija u školskim krugovima i ukupni nalet i broj operacija tijekom letenja u zoni (Tablica 5.).

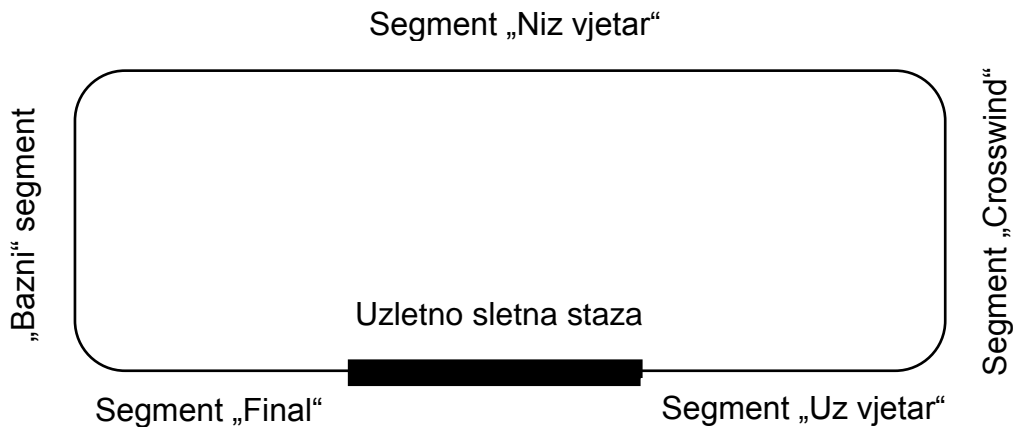
**Tablica 5.** Raspodjela naleta u školskom letenju

	<b>Sati naleta (h:min)</b>	<b>Broj operacija</b>
Letenje u školskom krugu	276:50	1917
Letenje u zoni	166:50	373

Školski krug definiran je kao osnovni element u školovanju pilota. To je operacija u kojem pilot prolazi sve faze letenja, od polijetanja, penjanja i krstarenja do spuštanja i slijetanja. Uobičajena visina kruga je tisuću stopa iznad terena (*Above Ground Level* -AGL). Važno je napomenuti da se princip školskog kruga koristi i kod procedura za dolazak zrakoplova na aerodrom, odnosno odlazak zrakoplova sa aerodroma.

Standardni školski krug se sastoji od nekoliko segmenata (Slika 3.) [21]:

- segment „Uz vjetar“
- segment „Crosswind“
- segment „Niz vjetar“
- „Bazni“ segment
- Segment „Final“



**Slika 3.** Segmenti školskog kruga

Prvi segment školskog kruga započinje izlaskom zrakoplova na stazu i dodavanjem maksimalne snage u svrhu polijetanja. S obzirom na pretpostavku da zrakoplovi generalne avijacije za penjanje koriste maksimalnu snagu, takva postavka snage traje sve do postizanja visine školskog kruga. Prvi segment završava dostizanjem visine od petsto stopa iznad terena. Na toj visini pilot je i dalje u penjanju, te smjer zrakoplova mijenja za devedeset stupnjeva u lijevo ili desno.

Time započinje drugi segment tijekom kojeg zrakoplov postiže visinu kruga. Tada pilot podešava snagu za krstarenje. Završetkom tog segmenta pilot opet mijenja smjer zrakoplova za devedeset stupnjeva u lijevo ili desno.

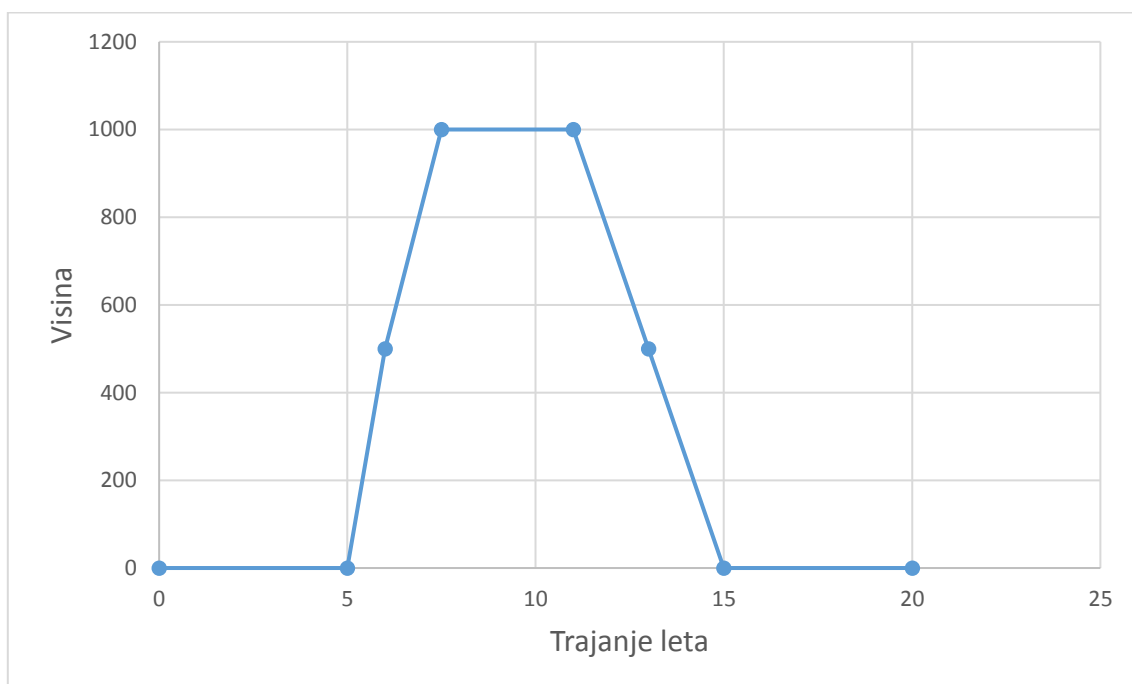
Sljedeći segment, odnosno segment „Niz vjetar“, je segment u kojem je zrakoplov u fazi krstarenja. Pred završetak tog segmenta pilot priprema zrakoplov za spuštanje, odnosno slijetanje. Smanjuje se snaga i izvlače se zakrilca. Na kraju tog segmenta, dolazi do promjene smjera aviona za devedeset stupnjeva u lijevo ili desno i napušta se visina kruga te započinje spuštanje.

U predzadnjem segmentu kruga zrakoplov je u fazi spuštanja. Taj segment traje do dostizanja visine od petsto stopa iznad terena kada pilot mijenja smjer zrakoplova u svrhu postavljanja zrakoplova u pravac piste. U završnom segmentu kruga zrakoplov je i dalje u fazi spuštanja te se snaga još dodatno smanjuje u svrhu postizanja pogodne brzine za slijetanje. Tijekom školovanja, najčešće nakon slijetanja zrakoplov se ne zaustavlja nego se ide u produženje u novi krug (*Touch and Go Landing*). Naravno, moguće je izvesti i slijetanje sa zaustavljanjem [21]. Broj LTO ciklusa u fazi školovanja je često od četiri do šest tijekom jednog leta.

Iz obrađenog naleta moguće je dobiti prosjek jednog leta iz profila školskog letenja. Za letove školskih krugova prosjek trajanja jednog leta je šezdeset minuta i pritom se obavi pet operacija, odnosno školskih krugova. Uz ranije spomenutu pretpostavku da segment manevriranja na zemlji traje deset minuta, ukupno vrijeme provedeno u zraku iznosi pedeset minuta. Ako se obavi pet operacija, prosječno trajanje jednog školskog kruga iznosi deset minuta (Slika 4). Vremena pojedinih segmenata školskog kruga su prikazana u tablici 6.

**Tablica 6.** Vrijeme trajanja pojedinih segmenata i postavke snage u školskom krugu

	Vrijeme trajanja (min)	Postavke snage (%)	Udio faze u ukupnom trajanju leta (%)
Segment „Uz vjetar“	1	100	1
Segment „Crosswind“	1.5	100	15
Segment „Niz vjetar“	3.5	84	35
„Bazni“ segment	2	73	20
Segment „Final“	2	54	20



**Slika 4.** Vertikalni profil jednog segmenta školskog kruga

Letenje u zoni je profil leta vezan isključivo za školsko letenje. Zona je definirani prostor najčešće u blizini aerodroma. Zona je najčešće kružnog oblika sa središtem u nekoj točki i definira se radijusom tog kruga i minimalnom, odnosno maksimalnom visinom. Zona služi za vježbanje raznih radnji u zrakoplovu kao što su, na primjer, zaokreti, prevlačenja, koviti, akrobacije i tako dalje. Za potrebe letenja u zoni faza manevriranja na tlu se uzima da traje deset minuta.

Letenje u zoni se može podijeliti na nekoliko segmenata:

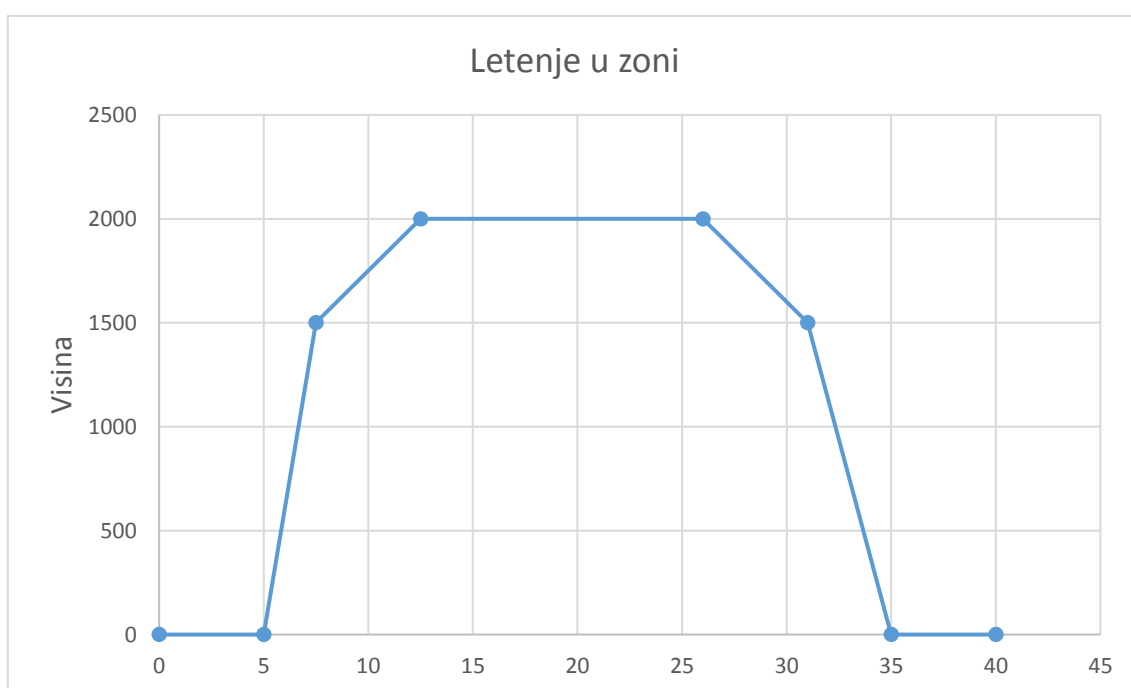
- polijetanje
- odlazak u zonu
- rad u zoni
- povratak iz zone
- slijetanje

Polijetanje se sastoji od dodavanja snage u svrhu počinjanja polijetanja i inicijalnog penjanja. Postavljena snaga je pri tome maksimalna. U segmentu odlaska u zonu penje se do visine definirane za odlazak u zonu i nakon toga se zrakoplov prevodi u horizontalni let. U horizontalnom letu snaga se postavlja na traženu snagu za taj režim letenja. Dolaskom u zonu se penje na visinu rada u zoni, ako je potrebno, i započinje se s radom. Rad u zoni karakteriziraju česte promjene režima rada motora. Tijekom vježbanja raznih elemenata dolazi do čestih promjena snage od minimalne do maksimalne. Nakon završetka rada, prelazi se na visinu za povratak iz zone i prelazi se u segment povratka iz zone. Taj segment se sastoji od horizontalnog leta i početnog segmenta spuštanja u svrhu slijetanja. Kada započinje spuštanje, snaga se postavlja na potrebnu za spuštanje. Zadnja faza je slijetanje u kojoj pilot još smanjuje snagu, dovodi zrakoplov u položaj za slijetanje i slijeće na uzletno sletnu stazu.

Iz analize naleta koji spada u profil školskog letenja izdvojen je i nalet vezan za letenje u zoni. Ukupni nalet letenja u zoni iznosi sto šezdeset i šest sati i pedeset minuta, odnosno obavljeno je ukupno tristo sedamdeset i tri operacije. Prosječni let traje četrdeset minuta i sastoji se od jedne operacije (Slika 5.). Kao i u prethodnim analizama, ukupno vrijeme manevriranja na zemlji iznosi deset minuta. S obzirom na to, ukupno vrijeme leta u zoni iznosi trideset minuta. Vremenski udio pojedinog segmenta je predstavljen u Tablici 7.

**Tablica 7.** Vrijeme trajanja pojedinih segmenata i postavke snage tijekom letenja u zoni

	Vrijeme trajanja (min)	Postavke snage (%)	Udio faze u ukupnom trajanju leta (%)
Polijetanje	2.5	100	8.33
Odlazak u zonu	5	84	16.6
Rad u zoni	13.5	0-100	45
Povratak iz zone	5	84	16.6
Slijetanje	4	64	13.3



**Slika 5.** Vertikalni profil letenja u zoni

## 5.2 Rutno letenje

Rutno letenje je najčešći profil leta u zrakoplovstvu. Taj profil je karakterističan po vrlo dugoj fazi krstarenja i uobičajen je i u mlaznom zrakoplovstvu. Rutno letenje je vrlo važan dio školovanja pilota, ali je i profil karakterističan za panoramske letove, komercijalni prijevoz putnika, privatno letenje i tako dalje.

Osnovni segmenti tog profila su:

- polijetanje
- penjanje
- krstarenje
- spuštanje
- slijetanje

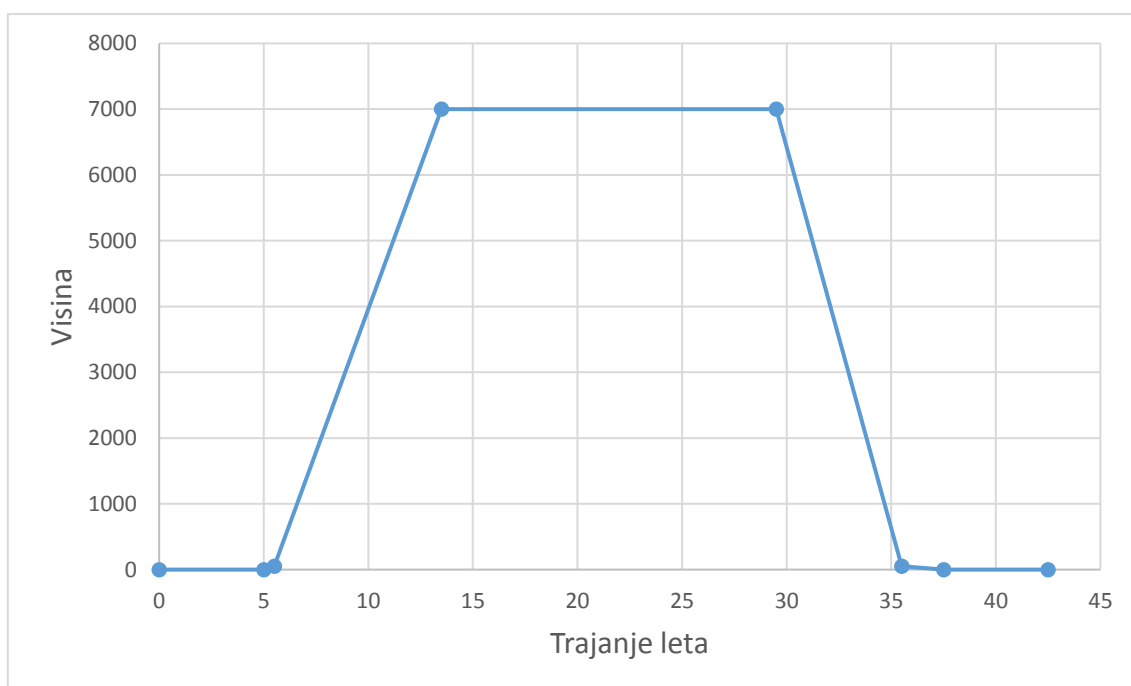
Polijetanje se sastoji od dodavanja snage u svrhu počinjanja polijetanja i inicijalnog penjanja. Postavljena snaga je pri tome maksimalna. Segment penjanja se kod ovog profila može pojavljivati nekoliko puta tijekom leta. U penjanju snaga je također maksimalna i ta faza završava dostizanjem neke željene visine i prevođenjem zrakoplova u horizontalni let. Tijekom leta moguće je visinu mijenjati i nekoliko puta tako da se taj segment može pojavljivati nekoliko puta. U segmentu krstarenja snaga je podešena na potrebnu snagu za krstarenje. Spuštanje, kao i penjanje, se kod ovog profila može pojaviti nekoliko puta s obzirom da su promjene visine česte kod ovog profila. U spuštanju smanjuje se snaga, napušta se određena visina i prelazi na neku nižu visinu ili se zrakoplov prevodi u položaj za slijetanje. Slijetanje kao završna faza počinje dovođenjem zrakoplova u pravac staze a završava dovoljnim usporenjem zrakoplova da napusti stazu. U toj fazi pilot snagu smanjuje na minimum.

Provedbom analize naleta ukupno je izdvojeno tisuću četiristo osamdeset i sedam sati rutnog letenja, odnosno dvije tisuće šesto dvadeset i osam operacija. Prosječno trajanje leta je jedan sat i trideset i osam minuta, uz obavljene tri operacije. Stoga, može se zaključiti da jedna operacija traje trideset i dvije minute i trideset sekundi. Udio pojedinih segmenata prikazan je u Tablici 8.

**Tablica 8.** Vrijeme trajanja pojedinih segmenata i postavke snage tijekom rutnog letenja

	Vrijeme trajanja (min)	Postavke snage (%)	Udio faze u ukupnom trajanju leta (%)
Polijetanje	0.5	100	1.5
Penjanje	8	100	24.6
Krstarenje	16	84	49.2
Spuštanje	6	73	18.4
Slijetanje	2	54	6.1

Na slici 6. vidljiv je vertikalni profil rutnog letenja.



**Slika 6.** Vertikalni profil rutnog letenja

### 5.3 Padobranski letovi

Padobranski letovi specifični profil leta. Takav tip operacija nije moguće svrstati ni u jedan od gornjih profila leta. Taj profil leta karakterizira dugotrajno penjanje do

određene visine koja je uobičajeno viša od nekih standardnih visina za generalnu avijaciju. Nakon postizanja te visine, zrakoplov se u horizontalnom letu zadržava kratko. Nakon izbacivanja padobranaca zrakoplov se prevodi u spuštanje do aerodroma.

Osnovni segmenti ovog profila su:

- polijetanje
- penjanje
- izbacivanje padobranaca
- spuštanje
- slijetanje

Polijetanje se sastoji od dodavanja snage u svrhu počinjanja polijetanja i inicijalnog penjanja. Postavljena snaga je pri tome maksimalna. Kod ovog profila leta segment penjanja je puno duži nego kod ostalih profila. S obzirom da se radi o penjanju zrakoplova generalne avijacije, penjanje se vrši s maksimalnom snagom. Nakon dostizanja visine za skok padobranaca, pilot najčešće reducira snagu nešto ispod snage predviđene za krstarenje. Pritom se na toj visini zadržava kratko. Nakon skoka padobranaca pilot prevodi zrakoplov u spuštanje. U tom segmentu snaga je reducirana. Spuštanje traje do visine na kojoj pilot avion prevodi u položaj za slijetanje. Slijetanje kao završna faza počinje dovođenjem zrakoplova u pravac staze, a završava dovoljnim usporenjem zrakoplova da napusti stazu. U toj fazi pilot snagu smanjuje na minimum.

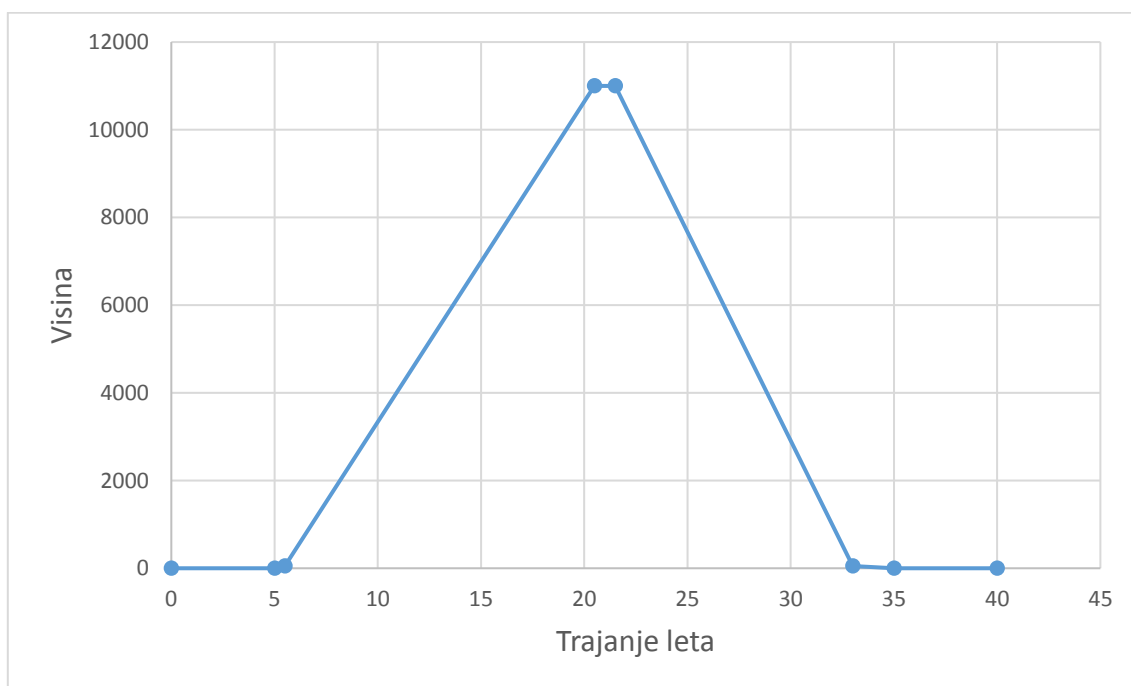
Ukupni udio padobranskih letova u prikupljenom naletu je dvjesto četrdeset sati i pet minuta i četiristo dvadeset i šest operacija. Prosječno vrijeme jednog leta je trideset minuta i sastoji se od jedne operacije. Trajanja svake pojedine faze u ovom profilu leta je prikazano u Tablici 9.



**Tablica 9.** Vrijeme trajanja pojedinih segmenata i postavke snage tijekom padobranskih letova

	Vrijeme trajanja (min)	Postavke snage (%)	Udio faze u ukupnom trajanju leta (%)
Polijetanje	0.5	100	1.6
Penjanje	15	100	50
Izbacivanje padobranaca	1	62	3.3
Spuštanje	11.5	50	38.3
Slijetanje	2	30	6.6

Na slici 7. vidljiv je vertikalni profil padobranskih letova.



**Slika 7.** Vertikalni profil padobranskih letova

## 6. Proračun emisija

### 6.1 Osnove izgaranja

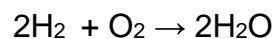
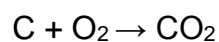
Motori s unutarnjim izgaranjem koji koriste neki od fosilnih goriva za svoj pogon, tijekom rada stvaraju mnoge produkte izgaranja koji se ispuštaju u atmosferu. Zrakoplovni klipni motori za pogon koriste ili avionski benzin (AVGAS) ili motorni benzin (MOGAS). Rijetko koriste dizel kao pogonsko gorivo [9].

Postoji nekoliko vrsta avionskog benzina. To su redom: AVGAS 80, AVGAS 100 i AVGAS 100LL. U Republici Hrvatskoj dostupan je samo AVGAS 100LL.

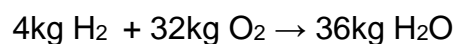
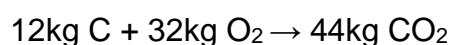
Osnovne karakteristike AVGAS 100LL [22]

- Sadržaj tetraetil olova – 0.53 ml/L
- Ledište -  $-58^{\circ}\text{C}$
- Ogrijevna vrijednost – 43.5 MJ/kg
- Osnovni gorivi elementi:
  - Ugljik  $0.85 \frac{\text{kg}_{\text{ugljika}}}{\text{kg}_{\text{goriva}}}$
  - Vodik  $0.15 \frac{\text{kg}_{\text{vodika}}}{\text{kg}_{\text{goriva}}}$
  - Kisik  $0.0 \frac{\text{kg}_{\text{kisika}}}{\text{kg}_{\text{goriva}}}$

Za izgaranje goriva, potreban je gorivi element iz samog goriva i oksidator. Izgaranje se može prikazati kao bilanca izgaranja [9]:



Ovu bilancu se može prikazati i putem molnih masa koje za ugljik, kisik i vodik redom iznose 12 kg/kmol, 32 kg/kmol i 2 kg/kmol [9].



Iz dobivenih jednadžbi dobiva se formula koja pokazuje potrebnu količinu kisika za izgaranje jednog kilograma goriva. Da bi se dobila potrebna količina zraka za izgaranje, potrebno je preformulirati jednadžbu s obzirom da je poznato da je maseni udio kisika u zraku 0.23.

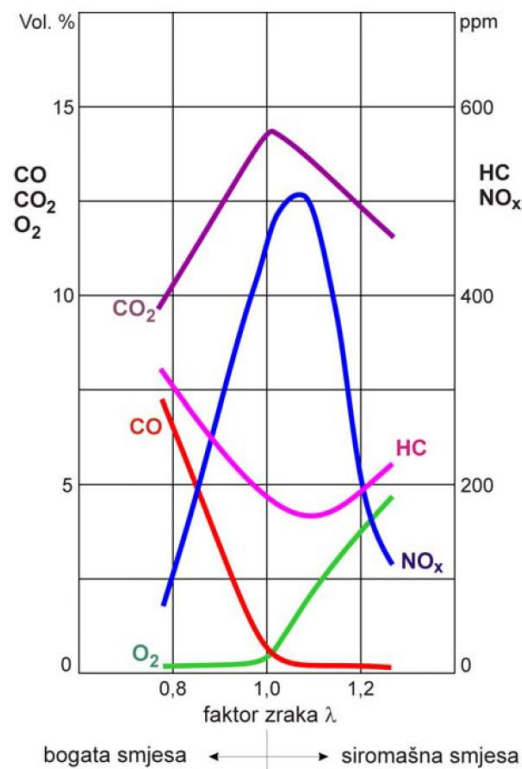
$$O_2 = \frac{8}{3}c + 8h - o$$

$$A_0 = \frac{1}{0.23} \left( \frac{8}{3}c + 8h - o \right)$$

Za avionske benzine  $A_0$  iznosi 15 kg<sub>zraka</sub> / kg<sub>goriva</sub>. Ako se za izgaranje kilograma goriva dovodi 15 kilograma zraka takva smjesa se naziva stehiometrijska smjesa. Sastav smjese se najbolje prikazuje putem faktora bogatstva smjese  $\lambda$  [9].

$$\lambda = \frac{A}{A_0}$$

Ako je u smjesi manje od 15 kilograma zraka po kilogramu goriva smjesa je bogata ( $\lambda < 1$ ), a ako ima više zraka od 15 kilograma, smjesa je siromašna ( $\lambda > 1$ ). Za stehiometrijsku smjesu  $\lambda = 1$  [9].



**Slika 8.** Utjecaj faktora smjese na sastav ispušnih plinova [9]

Rezultati izgaranja se mogu podijeliti u tri skupine: izgaranje sa stehiometrijskom smjesom, izgaranje s bogatom smjesom i izgaranje sa siromašnom smjesom. (Slika 8.) Kod izgaranja stehiometrijske smjese produkti koji nastaju su ugljični dioksid  $\text{CO}_2$ , vodena para  $\text{H}_2\text{O}$  i dušik  $\text{N}_2$  koji je ušao u sastav smjese za izgaranje kao dio sastava svježeg zraka ali ne sudjeluje u kemijskim reakcijama. Ako je smjesa bogata produkti izgaranja su ugljični dioksid  $\text{CO}_2$ , vodena para  $\text{H}_2\text{O}$ , dušik  $\text{N}_2$  i ugljični monoksid  $\text{CO}$  i vodik  $\text{H}_2$  kao produkti nepotpunog izgaranja zbog manjka kisika. Ako je višak kisika, a time je smjesa bogata, produkti izgaranja su ugljični dioksid  $\text{CO}_2$ , vodena para  $\text{H}_2\text{O}$ , dušik  $\text{N}_2$  i kisik  $\text{O}_2$  koji zapravo predstavlja višak neiskorištenog kisika za izgaranje [9].

### 6.3 Utjecaj ispušnih plinova na atmosferu

Ispušni plinovi se mogu podijeliti u primarne i sekundarne onečišćivače [9]. Primarni onečišćivači su oni koji ovise o režimu rada motora, visini i kemijskom sastavu goriva. Sekundarni onečišćivači su oni koji ovise o izvoru emisije, kemijskom sastavu goriva i sastavu zraka. Ukupno jedna petina onečišćenja vezanih za zrakoplovstvo se emitira u donje slojeve atmosfere, a ostalih četiri petine je vezano za troposferu [9].

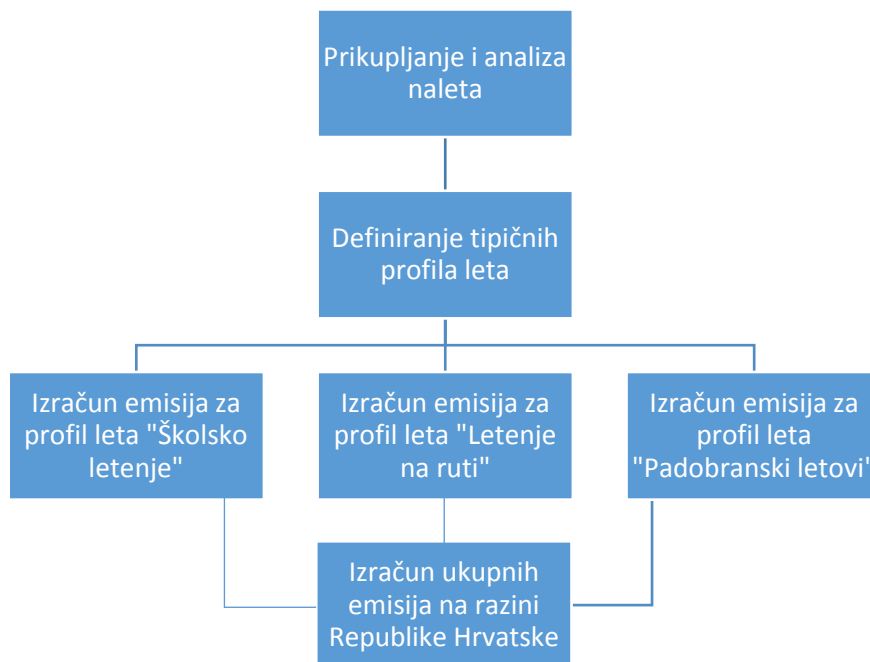
Ugljični monoksid je najčešći onečišćivač atmosfere. Glavni mehanizam nastanka je nepotpuno izgaranje tvari bogatih ugljikom. Ukupni iznos emisija ugljičnog monoksida na svjetskoj razini iznosi dvije tisuće i šesto milijuna tona. Ugljični monoksid ima i velike utjecaje na zdravlje ljudi. Može uzrokovati brojne kardiovaskularne i neurološke probleme [23].

Dušični oksidi ( $\text{NO}_x$ ) su vrlo značajan čimbenik u emisijama štetnih plinova. Dušični oksidi u atmosferi uzrokuju uništavanje ozona. Također, oni su jedan od uzroka povećane količine metana. Dušični oksidi su jedan od uzročnika kiselih kiša. Glavni mehanizam nastanka  $\text{NO}_x$  je izgaranje goriva na vrlo visokim temperaturama [9].

Sumporovi oksidi nastaju izgaranjem fosilnih goriva. Primarni proizvođači su elektrane, ali i značajna količina nastaje izgaranjem pogonskog goriva prijevoznih sredstava. Imaju mnoge štetne zdravstvene učinke. Također, jedan su od uzročnika kiselih kiša [23].

## 6.2 Proračun količine emisija

Osnovni princip proračuna emisija klipnih zrakoplova je izračun količine određenih čimbenika iz sastava ispušnih plinova na temelju utrošene količine goriva. Proračun je namijenjen za procjenu količine emisija tipičnih profila leta definiranih u petom odlomku. U tom odlomku za svaki profil leta definirano je prosječno trajanje leta i prosječni broj operacija tijekom jednog leta. Također, određeno je prosječno trajanje svake faze leta za svaki od definiranih profila. Nakon izračuna emisija za svaki pojedini profil leta, rezultati će se koristiti za ukupnu procjenu emisija na razini Republike Hrvatske. (Slika 9.) Također, u izračun emisija na razini Republike Hrvatske uvrstit će se i ukupna količina prodanog goriva. U ovom radu izračunat će se količina ugljikovog monoksida, dušičnih oksida i ugljikovodika.



**Slika 9.** Dijagram toka proračuna ukupnih emisija na razini Republike Hrvatske

Za izračun emisija ovakvom metodom, osim potrošenog goriva i udjela pojedinih faza u tipičnom profilu leta, potrebno je definirati emisijske faktore za svaki pojedini promatrani motor. Emisijski faktor (EF) je eksperimentalno određen za svaki pojedini segment ispušnih plinova i za svaku pojedinu fazu. Predstavlja količinu određenog

ispušnog plina u gramima koja nastaje izgaranjem kilograma goriva. U ovom radu koristit će se metodologija izračuna i emisijski faktori određeni u projektu „*Airport Cooperative Research Program*“. U tom projektu su eksperimentalno određeni emisijski faktori za jako veliki broj klipnih zrakoplovnih motora. Za svaki motor određeni su emisijski faktori za svaku pojedinu fazu LTO ciklusa [10]. Takva metodologija će znatno olakšati izračun ukupnih emisija.

$$\text{Količina emisija} = \text{Emisijski faktor} \times \text{Potrošeno gorivo}$$

Za potrebe ovog rada odredit će se ukupne količine ugljikovog monoksida, dušičnih oksida i ugljikovodika.

$$E_j = \sum_{i=1}^n EF_{ji} \times FF_i \times t_i$$

Ukupna količina emisija čimbenika  $j$  ( $E_j$ ) predstavlja sumu umnožaka emisijskog faktora određenog čimbenika  $j$  za određenu fazu leta  $i$  ( $EF_{ji}$ ), protoka goriva za pojedinu fazu  $i$  ( $FF_i$ ) i ukupnog vremena provedenog na toj fazi ( $t_i$ ) [2]. Ta jednadžba se može napisati i u obliku sume umnožaka pojedinih emisijskih faktora za svaku fazu ( $EF_{ji}$ ) i potrošenog goriva u toj fazi ( $UF_i$ ).

$$E_j = \sum_{i=1}^n EF_{ji} \times UF_i$$

Za potrebe profila leta školsko letenje i rutno letenje koristit će se zrakoplov Cessna 172N sa zrakoplovnim motorom Lycoming O-320H2AD. To je zrakoplovni motor s četiri cilindra i snage od sto i šezdeset konjskih snaga. Emisijski parametri za traženi motor su prikazani u tablici 10. Za profil leta padobranski letovi koristit će se zrakoplov Cessna 206 sa motorom IO-540. To je motor s šest cilindra i snage od tristo konjskih snaga.

**Tablica 10.** Emisijski faktori za motor Lycoming O-320-H2AD [10]

	<b>Protok goriva (kg/sec)</b>	<b>CO (g/kg)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (g/kg)</b>	<b>HC (g/kg)</b>
Manevriranje na zemlji	0.0017	944	0.8	52.6
Polijetanje	0.0097	937	4.7	41.3
Penjanje	0.0097	937	4.7	41.3
Krstarenje	0.0087	436	24.8	31.5
Spuštanje	0.0075	549	10.9	35
Prilaz i slijetanje	0.0056	813	1.8	45.8

**Tablica 11.** Emisijski faktori za motor Lycoming IO-540 [10]

	<b>Protok goriva (kg/sec)</b>	<b>CO (g/kg)</b>	<b>NO<sub>x</sub> (g/kg)</b>	<b>HC (g/kg)</b>
Manevriranje na zemlji	0.0051	385	2.6	78,9
Polijetanje	0.0178	1095	4.5	32.5
Penjanje	0.0178	1095	8.1	27.9
Krstarenje	0.0110	553	22.1	81.7
Spuštanje	0.0073	817	25.6	79.3
Prilaz i slijetanje	0.0073	911	10.6	50.3

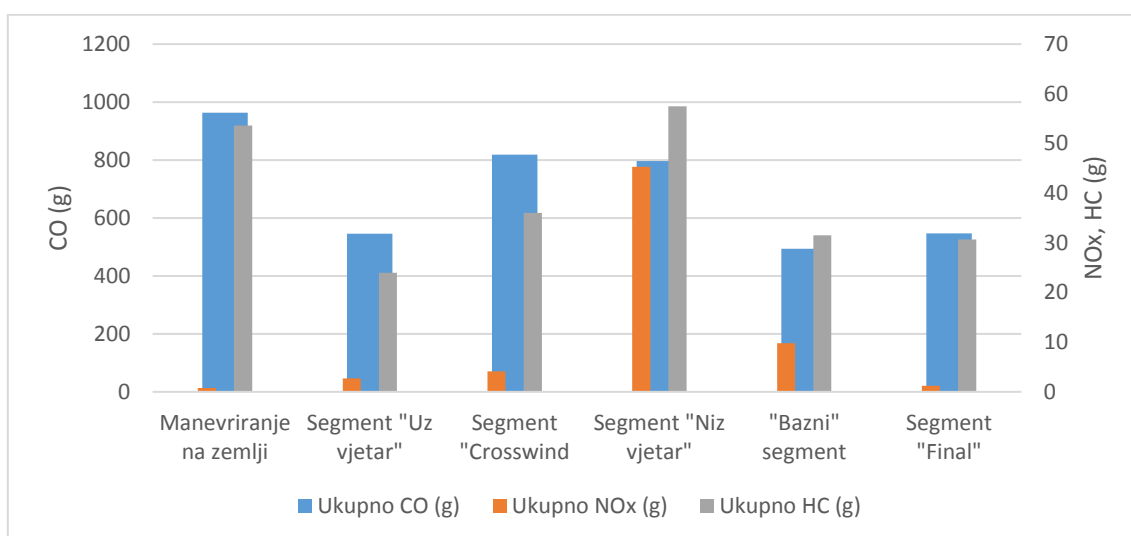
S obzirom da su u petom poglavlju definirana vremena trajanja pojedine faze svakog profila leta iz tablice 10., moguće je izračunati količinu emisija svakog pojedinog čimbenika tijekom jednog leta.

Za potrebe izračuna emisija za profil leta školskog letenja definirane su dvije podvrste, a to su školski krugovi i letenje u zoni. Definirano je prosječno trajanje školskog kruga od deset minuta i određeno je vrijeme svake pojedine faze u školskom krugu. (Tablica 6.) Na temelju te tablice i tablice 10 izračunate su količine emisija po svakoj fazi školskog kruga koje su prikazane u tablici 12. Iz grafikona 7. vidljivo je da

najznačajniji udio u emisijama ima ugljikov monoksid. Također, najveći udio ukupnih emisija je u fazama koje traju najduže, a to su manevriranje na zemlji i segment „Niz vjetar“.

**Tablica 12.** Količina emisija po školskom krugu

	<b>Gorivo (kg)</b>	<b>Ukupno CO (g)</b>	<b>Ukupno NOx (g)</b>	<b>Ukupno HC (g)</b>
Manevriranje na zemlji	1,02	962,8	0,8	53,6
Segment "Uz vjetar"	0,5	545,3	2,7	24
Segment "Crosswind"	0,8	818,1	4,1	36,0
Segment "Niz vjetar"	1,8	796,5	45,3	57,5
"Bazni" segment	0,9	494,1	9,8	31,5
Segment "Final"	0,6	546,3	1,2	30,7
<b>Ukupno :</b>	<b>5.62</b>	<b>4160</b>	<b>63.9</b>	<b>233</b>



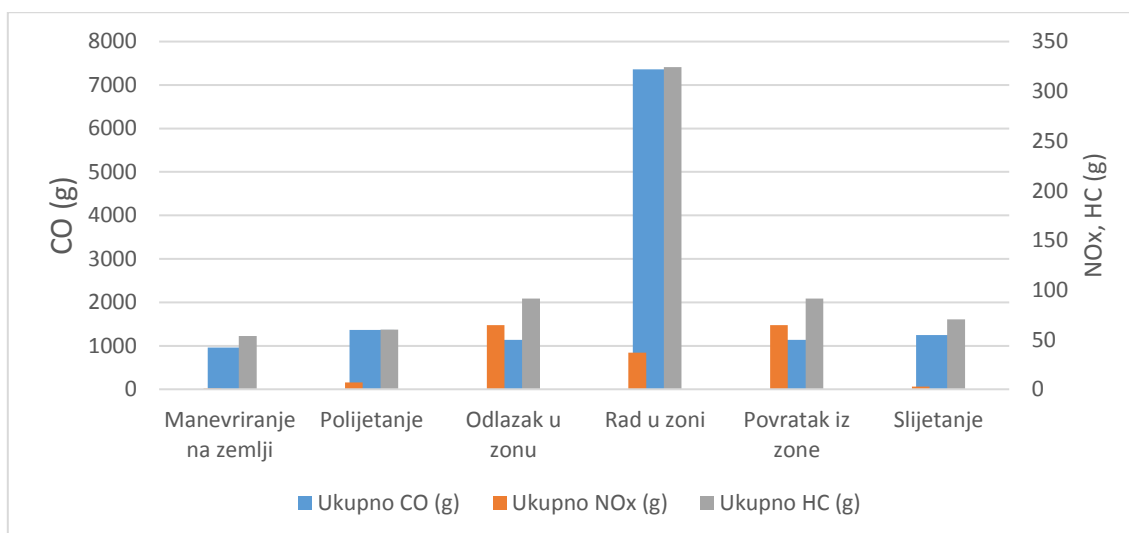
**Grafikon 8.** Količine emisija po školskom krugu



Na isti način moguće je izračunati i količinu emisija jednog leta u zoni. Definirano je da jedan takav let traje četrdeset minuta. Trajanje pojedinih faza i postavke snage su definirane u Tablica 7. Rezultati su prikazani u tablici 13.

**Tablica 13.** Količine emisija u letenju u zoni

	<b>Gorivo (kg)</b>	<b>Ukupno CO (g)</b>	<b>Ukupno NOx (g)</b>	<b>Ukupno HC (g)</b>
Manevriranje na zemlji	1.02	962.8	0.8	53.6
Polijetanje	1.4	1363.3	6.8	60
Odlazak u zonu	2.6	1137.9	64.7	91.3
Rad u zoni	7.8	7362	36.9	324.4
Povratak iz zone	2.6	1137.9	64.7	91.3
Slijetanje	1.5	1248.7	2.7	70.3
<b>Ukupno:</b>	<b>17.1</b>	<b>13212.9</b>	<b>176.8</b>	<b>691,2</b>



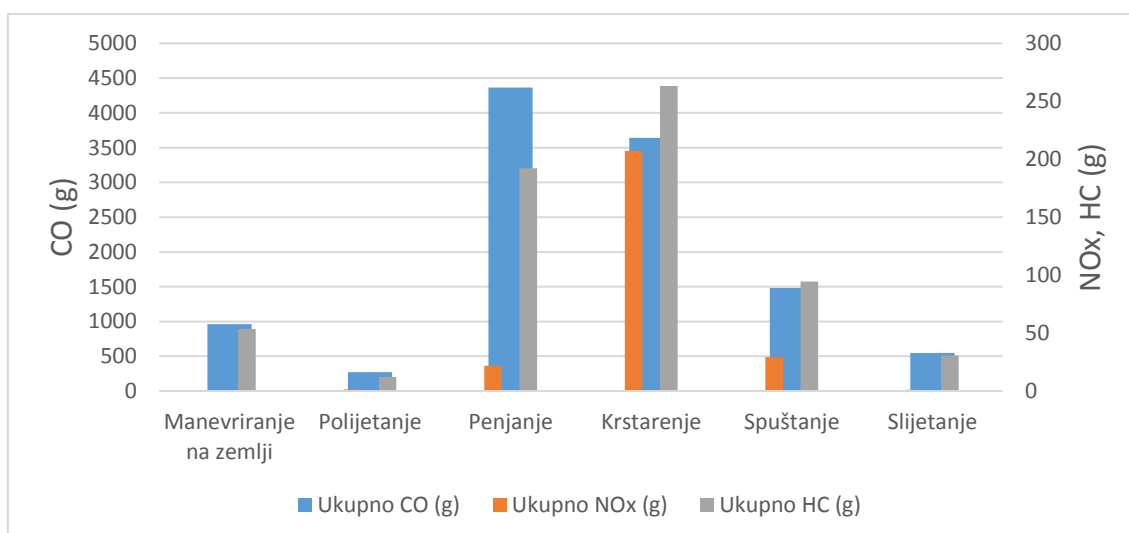
**Grafikon 9.** Količine emisija prilikom letenja u zoni

Iz grafikona 9. vidljivo je da najveći utjecaj ima sam rad u zoni. Razlog tome je sama dužina trajanja te faze ali i učestalost promjena postavki snage i dugo držanje zrakoplova na maksimalnoj snazi.

Za profil rutnog letenja definirana su trajanja svih faza u tablici 8. Prosječno trajanje jedne operacije tijekom rutnog letenja je trideset i dvije minute i trideset sekundi. U tablici 14. vidljiva je ukupna količina emisija po fazama unutar jedne operacije rutnog letenja.

**Tablica 14.** Količina emisija prilikom rutnog letenja

	<b>Gorivo (kg)</b>	<b>Ukupno CO (g)</b>	<b>Ukupno NOx (g)</b>	<b>Ukupno HC (g)</b>
Manevriranje na zemlji	1.02	962.8	0.8	53.6
Polijetanje	0.2	272.6	1.3	12.2
Penjanje	4.6	4362.6	21.8	192.2
Krstarenje	8.3	3641.4	207.1	263.1
Spuštanje	2.7	1482.3	29.4	94.5
Slijetanje	0.6	546.3	1.2	30.7
<b>Ukupno:</b>	<b>17.6</b>	<b>11268.3</b>	<b>261.8</b>	<b>646.3</b>



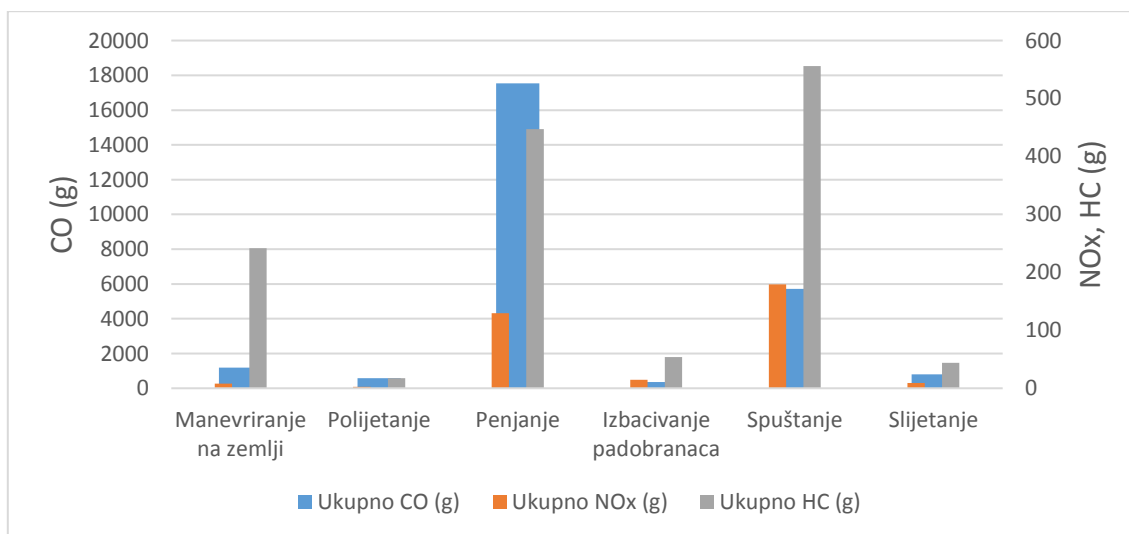
**Grafikon 10.** Količine emisija prilikom rutnog letenja

U grafikonu 10. moguće je uočiti da prilikom rutnog letenja većina emisija nastaje prilikom penjanja. Kod ovog profila leta penjanje je vrlo dugotrajno i radi se na maksimalnoj snazi što dovodi do velike potrošnje goriva, a time i do velike količine emisija.

Treći, odnosno posljednji definirani profil, su padobranski letovi. Definirani su u petom poglavlju i određeno je prosječno trajanje jednog leta koje iznosi trideset minuta. Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 15.

**Tablica 15.** Ukupne količine emisija prilikom padobranskih letova

	<b>Gorivo (kg)</b>	<b>Ukupno CO (g)</b>	<b>Ukupno NOx (g)</b>	<b>Ukupno HC (g)</b>
Manevriranje na zemlji	3.1	1178.1	7.9	241.4
Polijetanje	0.5	584.7	2.4	17.3
Penjanje	16.1	17541.9	129.5	446.9
Izbacivanje padobranaca	0.6	364.9	14.5	53.9
Spuštanje	7.1	5725.5	179.4	555.7
Slijetanje	0.8	798.1	9.2	44.1
<b>Ukupno:</b>	<b>28.2</b>	<b>26193.2</b>	<b>343.3</b>	<b>1359.4</b>



**Grafikon 11.** Ukupna količina emisija tijekom padobranskih letova

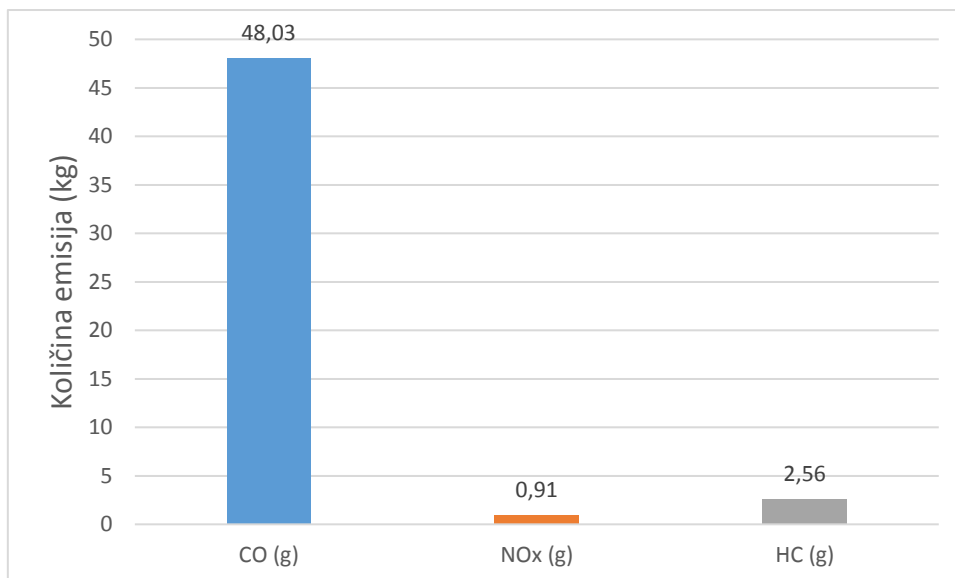
Na grafikonu 11 vidljiva je raspodjela količine emisija po fazama tijekom jednog padobranskog leta. Zbog specifičnosti ovog leta u kojem zrakoplov penje na jako veliku visinu, najveći udio u emisijama čine emisije u fazi penjanja. Za razliku od ostalih profila u kojem je najizraženija faza horizontalni let, odnosno krstarenje, u ovom profilu taj horizontalni dio, prilikom kojeg dolazi do skoka padobranaca, traje vrlo kratko i ne pridonosi značajno emisijama.

Nakon što su dobivene emisije za jedan let od svakog definiranog profila leta izračunat će se i analizirati ukupne emisije prema prikupljenom naletu. U petom poglavlju je definiran nalet po profilima leta i udio pojedine faze u svakom profilu. Na taj način je moguće izračunati ukupni broj sati naleta za svaku fazu, a time i ukupne emisije. Ukupne emisije su vidljive u tablici 16.

**Tablica 16.** Ukupne emisije prema prikupljenom naletu za razdoblje od 1.4.2017. do 1.4.2018.

	<b>Gorivo (kg)</b>	<b>CO (kg)</b>	<b>NOx (kg)</b>	<b>HC (kg)</b>
Školsko letenje	12544.7	8583.2	58.6	475.3
Rutno letenje	45682.6	28231.9	715.7	1623.8
Padobranski letovi	20254.4	11219.7	136.6	460.8
<b>Ukupno:</b>	78481.5	48034.8	911.1	2559.6

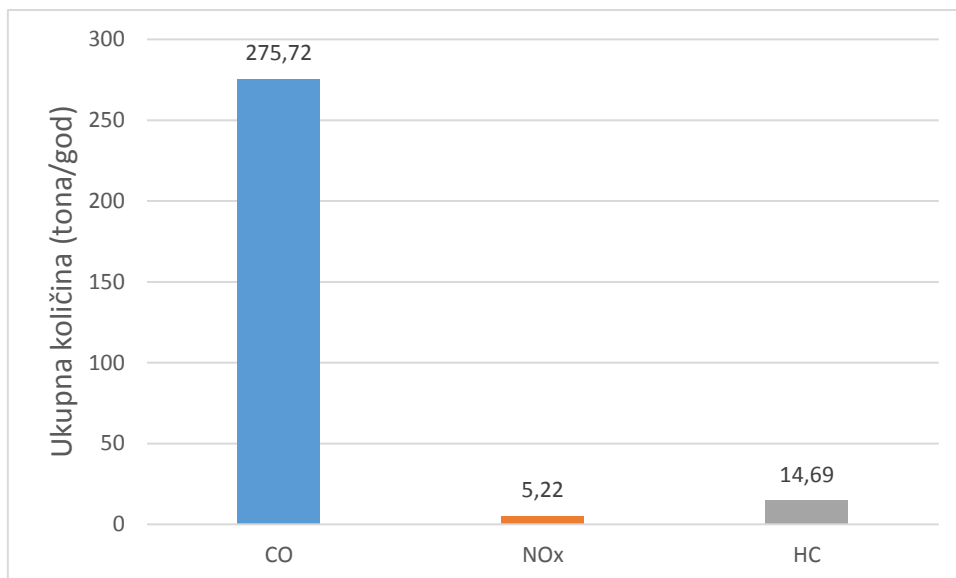
Ukupna količina potrošenog goriva je 78481.5 kilograma goriva. U četvrtom poglavlju u tablici 2 je prikazana ukupna količina potrošenog goriva. Taj iznos iz tablice 2 je ukupni iznos goriva koji su prijavili operateri da su potrošili tijekom promatranog razdoblja. Ukupni iznos je 91646 litara, odnosno 73316.8 kilograma goriva. Moguće je uočiti da je ukupno potrošeno gorivo dobiveno pomoću modela za izračun količine emisija vrlo slično dobivenoj informaciji o potrošenom gorivu od operatera. To pokazuje da ovaj model može biti dosta uspješan za proračun emisija.



**Grafikon 12.** Ukupne količine emisija za razdoblje 1.4.2017 - 1.4.2018.

Dobiveni rezultati su predloženi u Grafikonu 12. Može se uočiti da najveći udio emisija zrakoplovnih klipnih motora čini ugljikov monoksid (CO). Slijedi ga ugljikovodici (HC) i najmanje je dušičnih oksida (NOx). Osnovni razlog jako velike količine ugljikovog monoksida i ugljikovodika je nepostojanje sustava za obradu ispušnih plinova. Također jedan od razloga je i to što mnogi zrakoplovi lete s bogatom smjesom zbog pouzdanosti. Zbog bogate smjese gorivo ne može izgoriti u potpunosti u ugljikov dioksid nego se formira i ugljikov monoksid. Razlog relativno male razine dušičnih oksida u odnosu na motore cestovnih vozila je veličina motora, a time i temperatura izgaranja jer je osnovni razlog nastanka dušičnih oksida vrlo visoka temperatura izgaranja [14].

S obzirom na dobivene rezultate emisija za razdoblje od jedne godine i podataka o ukupnom prodanom gorivu unutar godine dana, napraviti će se procjena ukupnih emisija zrakoplova s klipnim motorom na razini Republike Hrvatske. Ukupne emisije zrakoplova s klipnim motorom izračunati će se usporedbom omjera ukupno dobivenih emisija i potrošenog goriva s ukupno prodanim gorivom na razini Republike Hrvatske.



**Grafikon 13.** Procijena ukupne količine emisija na razini Republike Hrvatske za razdoblje od 1.4.2017 do 1.4.2018

Dobiveni rezultati su vidljivi na grafikonu 13. Omjer pojedinih čimbenika u ispušnim plinovima je očekivan. U budućnosti bi trebalo raditi ovakav izračun emisija nekoliko godina u kontinuitetu da bi se mogla napraviti usporedba odnosno dati mišljenje o promjenama emisija zrakoplovnih klipnih motora.

## 7. Zaključak

Utjecaj emisija motora s u nutarnjim izgaranjem na okoliš i ljudsko zdravlje postaju sve važniji. Na svjetskoj razini cilj je smanjenje količina štetnih tvari. S obzirom da u 20. stoljeću dolazi do ubrzanog razvoja zrakoplovstva, dolazi do potrebe za reguliranjem emisija štetnih tvari i u zrakoplovstvu. S obzirom da komercijalni zračni prijevoz mlaznim avionima čini većinu zračnog prometa, danas gotovo sva regulativa vezana za emisije u zrakoplovstvu je vezana za mlazne zrakoplove.

Za razliku od mlaznih zrakoplova, gdje teži ekološki prihvatljivim rješenjima, tehnologija klipnih motora je gotovo jednaka od 60ih godina 20. stoljeća. Također, za razliku od motora cestovnih vozila zrakoplovni motori nemaju nikakav sustav pročišćavanja ispušnih plinova.

U zadnjih desetak godina u svijetu započelo se sa istraživanjem i tog područja, te se nastoji osmisliti alat za praćenje emisija klipnih zrakoplova. Osnovni parametri za praćenje takvih emisija su vrijeme rada motora, profil leta i emisijski faktori za određene motore.

U ovom radu izračunate su emisije štetnih plinova za tri različita profila leta. Prikupljen je manji dio naleta i potrošenog goriva zrakoplova iz Registra zrakoplova Republike Hrvatske. Uz to za potrebe procijene ukupne količine emisija na razini Republike Hrvatske izračunat je prosjek godišnje prodaje avionskog benzina. Taj prosjek je izračunat iz podataka o prodanom gorivu za razdoblje od 2010. do 2015. godine. Za izračun emisija korišten je model osmišljen u projektu *Airport Cooperative Research Program*. Najprije su izračunate emisije i potrošnja goriva za jedan let iz svakog profila. Nakon toga su izračunate ukupna količina emisija i ukupno potrošeno gorivo za promatrani nalet. Usporedbom izračunatog potrošenog goriva i dobivenih podataka o potrošenom gorivu, uočava se da model daje vrlo dobre rezultate. Iz dobivenih rezultata vidljivo je da najveći utjecaj na emisije ima profil leta „Padobranski letovi“. Jedan od glavnih razloga je dugotrajno penjanje na veliku visinu, i često korištenje zrakoplova sa motorima velikog kapaciteta i velike snage. Na temelju procijenjenog iznosa ukupno prodanog goriva u razdoblju od jedne godine izračunate su ukupne godišnje emisije na razini Republike Hrvatske.

Ovakav model bi se u budućnosti mogao iskoristiti za daljnji razvoj alata za praćenje emisija na razini države u određenom vremenskom periodu. Osnovni problem je dostupnost kvalitetnih podataka iz Registra zrakoplova, ali i dostupnost podataka o naletu zrakoplova. Ako se osmisli učinkoviti način za pribavljanje podataka o naletu i način same analize naleta, ovakav model može pružiti vrlo visoku razinu točnosti.



## Literatura

- [1] International Council on Clean Transportation, *A Historical Review of the U.S. Vehicle Emission Compliance Program and Emission Recall Cases*, Washington: International Council on Clean Transportation, 2017.
- [2] C. Huang and M. Johnson, "Fuel Flow Rate and Duration of General Aviation Landing and Takeoff Cycle," in *16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference*, Washington D.C., 2016.
- [3] R. Kessler, »Sunset for Leaded Aviation Gasoline?,« *Environmental Health Perspectives* 121, pp. 54-57, 2013.
- [4] UNEP, *The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*, Kenya: UNON, 2000.
- [5] Ž. Dominis, »Posljedice stupanja na snagu protokola iz KYota,« *Naše more*, pp. 125-139, 26 10 2006.
- [6] M. Kosor, »Kyotski protokol s posebnim osvrtom na pregovore Republike Hrvatske o „baznoj“ godini,« *Pravnik*, pp. 81-104, 6 12 2012.
- [7] T. M. Norton, »Aircraft Greenhouse Gas Emissions during the Landing and Takeoff Cycle at Bay Area Airports,« *Master's Projects and Capstones*, 2014.
- [8] International Civil Aviation Organization, *Annex 16 on Chicago Convention on International Civil Aviation*, Montreal: International Civil Aviation Organization, 2008.
- [9] E. Bazijanac i A. Domitrović, *Zrakoplovne Emisije - Autorizirana predavanja*, Zagreb: Fakultet Prometnih Znanosti, 2016.
- [10] T. Yacovitch, Y. Zhenhong, S. Herndon i L. Rick-Myake, *Exhaust Emissions from In-Use*, Washington: Transportation Research Board, 2016.
- [11] E. Bazijanac, »Onečišćenje okoliša ispušnim plinovima mlaznih motora i zakonske mjere,« *Promet i čovjekova okolina*, pp. 195-199, 1992.

- [12] J. Golubić, Missoni Eduard, D. Božičević i J. Kovač, »Onečišćenje zraka ispušnim plinovima zrakoplovnih motora,« u *Drugi hrvatski simpozij zrakoplovne medicine*, Zagreb, 1996.
- [13] J. Golubić, Vogrin Zoran i S. Kaštela, »Smjernice razvoja zakonskih propisa glede emisija štetnih i neštetnih tvari iz prometa u Europskoj uniji,« u *Ocjena dosadašnjeg prometnog razvitka Hrvatske i osnovne smjernice daljnjeg razvoja*, Zagreb, 2012.
- [14] V. Sruga and Z. Lulić, "Emissions from General Aviation in the Republic of Croatia," in *European Combustion Meeting*, Dubrovnik, 2017.
- [15] M. Poljančić, E. Bazijanac i A. Domitrović, »Measurement and analysis of an aircraft piston engines,« u *Automatizacija u prometu 2012*, Zagreb, 2012.
- [16] D. Švragulja i A. Domitrović , »Review of Aircraft Fuel Efficiency Measures,« u *Znanost i razvitak prometa*, Zagreb, 2015.
- [17] Ministarstvo pomorstva, prometa i infrastrukture, *Pravilnik o sadržaju i načinu vođenja Hrvatskog Registra Civilnih Zrakoplova*, Zagreb: NN 04/2015, 2012.
- [18] Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo, *Hrvatski registar civilnih zrakoplova (stanje 1.4.2018)*, Zagreb, 2018.
- [19] Hrvatski Sabor, *Zakon o zračnom prometu*, Zagreb: NN 69/2009, 2009.
- [20] Oxford Aviation Academy, *Flight Performance and Planning I*, Shoreham, England: Transair Ltd., 2008.
- [21] H. Lazić, *Postupci i razrada elemenata programa praktičnog školovanja na avionu u vizualnom letenju*, Zagreb: Fakultet Prometnih Znanosti, 1999.
- [22] UK Ministry of Defense, *Defense Standard 91/90*, Ministry of Defense, 2009.
- [23] »Državni hidrometeorološki zavod,« [Mrežno]. Available: <http://vrijeme.hr/kz/zrak.php?id=polutanti&param=>. [Pokušaj pristupa 20 09 2018].

## Popis slika

<b>Slika 1.</b> Primjer stranice tehničke knjižice zrakoplova [19] .....	12
<b>Slika 2.</b> Prikaz faza leta u vertikalnom profilu .....	16
<b>Slika 3.</b> Segmenti školskog kruga .....	20
<b>Slika 4.</b> Vertikalni profil jednog segmenta školskog kruga.....	21
<b>Slika 5.</b> Vertikalni profil letenja u zoni.....	23
<b>Slika 6.</b> Vertikalni profil rutnog letenja .....	25
<b>Slika 7.</b> Vertikalni profil padobranskih letova.....	27
<b>Slika 8.</b> Utjecaj faktora smjese na sastav ispušnih plinova [9] .....	29
<b>Slika 9.</b> Dijagram toka proračuna ukupnih emisija na razini Republike Hrvatske .....	31

## Popis grafikona

<b>Grafikon 1.</b> Proizvođači zrakoplova .....	7
<b>Grafikon 2.</b> Zrakoplovi proizvođača Cessna .....	8
<b>Grafikon 3.</b> Zrakoplovi proizvođača Apollo Ultralight Aircraft.....	9
<b>Grafikon 4.</b> Zrakoplovi proizvođača Piper.....	9
<b>Grafikon 5.</b> Vlasnička struktura zrakoplova u Republici Hrvatskoj.....	10
<b>Grafikon 6.</b> Regionalna rasprostranjenost klipnih zrakoplova.....	11
<b>Grafikon 7.</b> Ukupno prodano avionsko gorivo za razdoblje od 2010 do 2015. godine .....	14
<b>Grafikon 8.</b> Količine emisija po školskom krugu .....	34
<b>Grafikon 9.</b> Količine emisija prilikom letenja u zoni.....	35
<b>Grafikon 10.</b> Količine emisija prilikom rutnog letenja .....	36
<b>Grafikon 11.</b> Ukupna količina emisija tijekom padobranskih letova .....	37
<b>Grafikon 12.</b> Ukupne količine emisija za razdoblje 1.4.2017 - 1.4.2018. ....	39
<b>Grafikon 13.</b> Procijena ukupne količine emisija na razini Republike Hrvatske za razdoblje od 1.4.2017 do 1.4.2018 .....	40

## Popis tablica

<b>Tablica 1.</b> Prikupljeni nalet operatera iz Republike Hrvatske .....	13
<b>Tablica 2.</b> Ukupno potrošeno gorivo po operaterima .....	14
<b>Tablica 3.</b> Faze LTO Ciklusa [2].....	18
<b>Tablica 4.</b> Ukupni nalet po profilima leta .....	19
<b>Tablica 5.</b> Raspodjela naleta u školskom letenju .....	19
<b>Tablica 6.</b> Vrijeme trajanja pojedinih segmenata i postavke snage u školskom krugu .....	21
<b>Tablica 7.</b> Vrijeme trajanja pojedinih segmenata i postavke snage tijekom letenja u zoni.....	23
<b>Tablica 8.</b> Vrijeme trajanja pojedinih segmenata i postavke snage tijekom rutnog letenja.....	25
<b>Tablica 9.</b> Vrijeme trajanja pojedinih segmenata i postavke snage tijekom padobranskih letova .....	27
<b>Tablica 10.</b> Emisijski faktori za motor Lycoming O-320-H2AD [10].....	33
<b>Tablica 11.</b> Emisijski faktori za motor Lycoming IO-540 [10].....	33
<b>Tablica 12.</b> Količina emisija po školskom krugu.....	34
<b>Tablica 13.</b> Količine emisija u letenju u zoni.....	35
<b>Tablica 14.</b> Količina emisija prilikom rutnog letenja.....	36
<b>Tablica 15.</b> Ukupne količine emisija prilikom padobranskih letova.....	37
<b>Tablica 16.</b> Ukupne emisije prema prikupljenom naletu za razdoblje od 1.4.2017. do 1.4.2018.....	38



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ diplomski rad  
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na  
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.  
Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz  
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.  
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj  
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.  
Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ diplomskog rada  
pod naslovom PRIJEDLOG SUSTAVA ZA PRAĆENJE EMISIJA ZRAKOPLOVA  
S KLIPNIM MOTOROM U REPUBLICI HRVATSKOJ  
na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom  
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 20.9.2018

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