

EMISIJE GASOVA STAKLENE BAŠTE U VAZDUŠNOM SAOBRAĆAJU I MERE ZA UBLAŽAVANJE NEGATIVNIH EFEKATA

Jamal Mahmood Kadhim, email: alwatan79@yahoo.com

Phd in Mechanical Engineering, University of Baghdad, Republic of Iraq

Tomislav Jovanović, email: toma.jovanovic@iu-travnik.com

Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku, Megatrend univerzitet, Fakultet za civilno
vazduhoplovstvo Beograd, Adriatik univerzitet, Fakultet za saobraćaj, komunikacije i
logistiku Budva

Tihomir Đurić, email: mrdjtiho@teol.net

Univerzitet Istočno Sarajevo, Saobraćajni fakultet Doboj

Olgica Pavlović, email: ogypavlovic@hotmail.com

Univerzitet Istočno Sarajevo, Saobraćajni fakultet Doboj

Sažetak: Emisije polutanata, kao posledica upotrebe fosilnih goriva u saobraćaju, doprinose značajnom stepenu zagađenja životne sredine. Vazdušni saobraćaj nije izuzetak. U ovom radu, posvetićemo pažnju problemu emisija gasova staklene bašte koje stvara sistem vazdušnog saobraćaja uključujući i mere koje se preduzimaju radi ublažavanja posledica: ekonomske, tehnološke, upravljačke i administrativne.

Ključne reči: emisije, životna sredina, mere za smanjenje negativnih uticaja

GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN AIR TRANSPORT AND MITIGATION MEASURES

Abstract: The emission of pollutants, as a result of the use of fossil fuels in transport, contributing to a significant degree of environmental pollution. Air transport is no exception. In this paper, attention will be devoted to the problem of greenhouse gas emissions generated by air transport system including the measures taken to mitigate the consequences: economic, technological, managerial and administrative.

Key words: emissions, environment, measures to reduce negative impacts

1. Uvod

Emisije u vazduhoplovstvu proizvode vazduhoplovi tokom saobraćanja, vozila za podršku i opsluživanje na zemlji, kao i kopneni transport koji se odvija u zoni aerodroma. Emisije iz ovih izvora spadaju u dve kategorije: (1) emisije koje uzrokuju pogoršanje lokalnog kvaliteta vazduha i (2) emisije koje uzrokuju klimatske promene.

Emisije koje uzrokuju *klimatske promene*, takođe spadaju u dve kategorije. Prva kategorija su GHGs (Green House Gases), koji uzrokuju klimatske promene zadržavanjem toplote u atmosferi i to su produkti sagorevanja fosilnih goriva. Drugu kategoriju čine *zračenja*.

Lokalni problemi kvaliteta vazduha su izazvani oksidima azota (NO_x), sumpornim oksidima (SO_x) i česticama (PM₁₀ i PM_{2.5}). U visokim koncentracijama, ovi zagađivači su pokazali da izazivaju i pogoršavaju čitav niz kardiovaskularnih bolesti uključujući hroničnu opstruktivnu plućnu bolest, srčane bolesti, rak pluća i astmu. U vazduhoplovstvu, najveće koncentracije ovih zagađivača mogu se naći u *blizini aerodroma* gde su vidovi kopnenog i vazdušnog saobraćaja neposredno u interakciji.

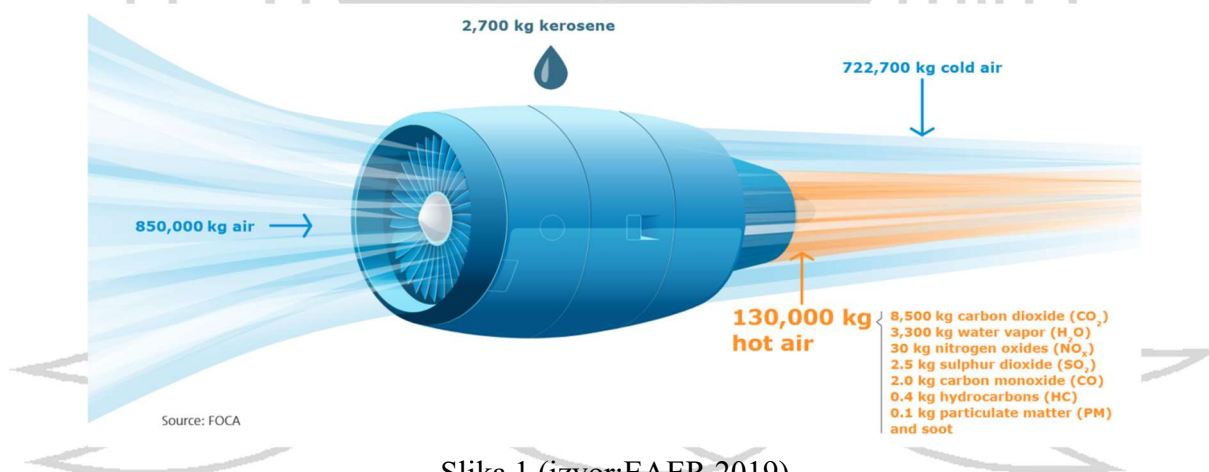
U 2015. godini vazduhoplovstvo je proizvelo 781 MTCO₂, što je oko 2% antropogenih emisija ugljenika. Očekuje se da će se potražnja za prevozom vazdušnim putem u budućnosti povećati. Očekuje se, takođe, i povećanje emisija, ali nižim tempom povećanja u odnosu na tempo rasta potražnje za prevozom. To znači da se očekuje da će sektor vazduhoplovstva povećati svoju efikasnost u pogledu emisija ugljenika. Postoje tri glavna načina (EC, 2017) na koji vazduhoplovna industrija može da smanji uticaj klimatskih promena: (1) povećana efikasnost odvijanja saobraćaja *upravljanjem vazdušnim saobraćajem* (ATM), (2) poboljšanja u *tehnologiji* i projektovanju vazduhoplova i (3) korišćenjem *alternativnih goriva*.

Nizom drugih (ekonomskih, administrativnih) mera se primena ovih načina stimuliše, tako da se sinergijskim pristupom dolazi do ublažavanja negativnih uticaja koje generiše vazdušni saobraćaj.

2. Emisije

2.1 Uticaji na kvalitet vazduha

Motori vazduhoplova proizvode ugljen-dioksid (CO₂), što je oko 70% sadržaja i vodenu paru (H₂O), na koju otpada oko 30% izduvnih gasova. Manje od 1% izduvnih gasova se sastoji od *zagađivača* kao što su azotni oksidi (NO_x), oksidi sumpora (SO_x), ugljen-monoksida (CO), delimično ili potpuno nesagoreli ugljovodonici (HC - *hydrocarbon*) i čestice (PM- *Particulate matter*). U zavisnosti od režima rada motora (faze leta), zavisiće količina i struktura izduvnih gasova. Na Slici 1, data je ilustracija u pogledu emisija za slučaj tipičnog dvomotornog mlaznog putničkog aviona sa 150 putnika tokom jednog sata leta (EAER,2019).

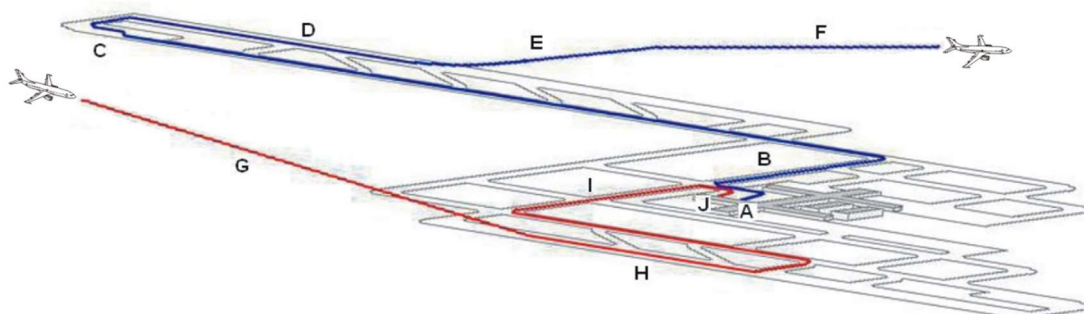


Slika 1 (izvor:EAER,2019)

ICAO (ICAO, 2011) daje preporuke za postupak *inventarizacije* i *metodologiju* za pristup emisijama. Za razliku od većine načina prevoza, vazduhoplovi prelaze velike udaljenosti na različitim visinama, stvarajući emisije koje potencijalno utiču na kvalitet vazduha u *lokalnim, regionalnim i globalnim sredinama*. Svaki kilogram potrošenog goriva produkuje na sat: 3.15kg CO₂, 1.22kg H₂O i 11.1gr NO_x-komentar Slike 1.

ICAO standardi za sertifikaciju emisija su dizajnirani da regulišu dim i različite emisije gasova iz avionskih motora, uključujući nesagorele ugljovodonike (HC), ugljen monoksid (CO), okside

azota (NO_x) i nepostojane čestice (nvPM). Za proučavanje kvaliteta vazduha u blizini aerodroma upotrebljava se *referentni ciklus* sletanja i poletanja (LTO) kao osnova za izračunavanje mase emisija gasova –Slika 2. Standardi se primenjuju na sve turbomlazne i turboventilatorske motore (dim); za emisije, na motore sa potiskom većim od 26,7 kN.



Slika 2: ICAO pojednostavljeni¹⁰⁰ LTO ciklus

Na Slici 1 trajektorija “A-B-C-D-E-F” predstavlja fazu poletanja, dok trajektorija “G-H-I-J” označava fazu sletanja. Režim rada motora i vreme trajanja pojedinih faza u LTO ciklusu dati su u Tbeli 1.

Tabela 1: Faze leta, vreme trajanja i angažovani potisak motora

	Vreme (min.)	Potisak motora (%)
Prilaz	4.0	30
Taxi i slobodan rad motora na zemlji (taxi-in + taxi-out)	26 (7+19)	7
Poletanje	0.7	100
Penjanje	2.2	85

Testiranja za sertifikaciju emisija se izvode na nemontiranom motoru u opremljenoj i kalibrisanoj jedinici. Merenja emisije motora i performansi se izvode na većem broju različitih podešavanja snage koji pokrivaju sve režime- od malog gasa do najjače snage, i ne za samo četiri gore prikazana ICAO režima. Izmereni podaci se koriguju za referentne uslove performansi motora, po utvrđenim procedurama (ISA-standardna atmosfera). (Vujović, 2015).

Aerodromi, na osnovu procesa koji se na njima i oko njih odvijaju, takođe predstavljaju izvore različitih štetnih gasova i čestica. Na osnovu zahteva ICAO u pogledu kvaliteta vazduha na aerodromima (ICAO, 2011), definisane su faze (1) *inventarizacije*-popisa emisija i (2) način *disperzije*¹⁰¹ emisija.

¹⁰⁰ Pored ovog, pojednostavljenog pristupa, postoje i drugi, složeniji, tzv. *napredni* i *sofisticirani* pristup.

¹⁰¹ Najpoznatiji modeli disperzije emisija su: Bi-Gaussian (FAA, CERC), Bi-Gaussian/Lagrangian (Eurocontrol) i Lagrangian (Nemačka i Švacarska)

Pored emisija vazduhoplova (A)- glavni motor i pomoćne pogonske grupe, prate se i emisije koje potiču: od opsluživanja vazduhoplova i opreme zemaljske podrške(B), infrastructure aerodroma (C) i odvijanja okolnog saobraćaja (D). Tako imamo:

A) od vazduhoplova:

- Pogonska grupa (od početka rada do gašenja motora)
- APU-*Auxiliary Power Unit(s)*

B) od opsluživanja vazduhoplova na zemlji:

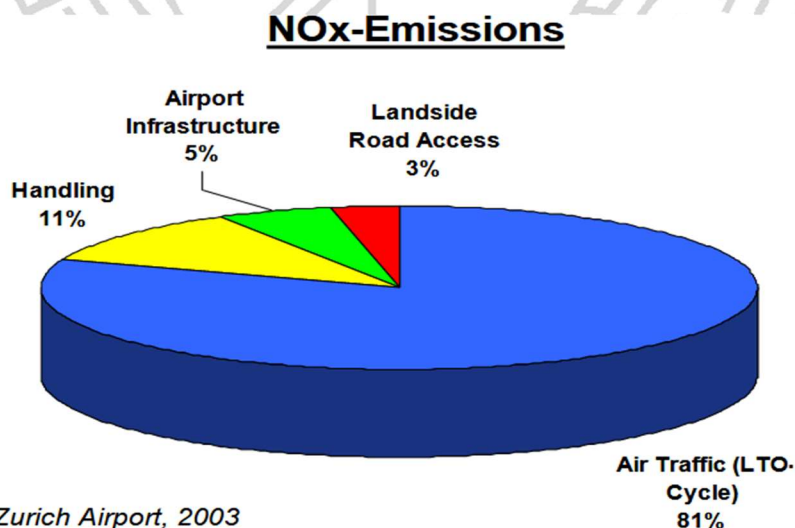
- GSE-*Ground Support Equipment*
- GPU-*Ground Power Units*
- Druga sredstva opsluživanja (*ground handling*)
- Snabdevanje gorivom
- *de-icing* , *anti-icing*

C) od infrastrukture:

- održavanje vazduhoplova i aerodroma,
- pogonske jedinice, postrojenja, generatori
- skladištenje goriva
- građevinsko održavanje
- čišćenje snega i odleđivanje
- protivpožarna zaštita

D) od odvijanja saobraćaja u okolini aerodroma (uglavnom vozila na motorni pogon)

Na Slici 3 je data ilustracija stanja emisija NO_x ¹⁰² na aerodromu u Zürich-u u 2003. godini (UNIQE,2004). Dominatnu emisiju produkuje vazduhoplov (81% po LTO ciklusu).



Slika 3: Struktura emisija na aerodromu u Cirihu (UNIQE,2004)

¹⁰² Emisije izračunate prema ukupnoj potrošnji goriva po tipu (benzin, dizel) i prosečnim faktorima emisije koji takođe odražavaju tip vozila (putnički automobil, kombi, teška teretna vozila).

2.2 Globalno zagađenje i klimatske promene

Vazduhoplovstvo je industrija koja je zasnovana na fosilnim gorivima, i procenjuje se da dnevno troši oko 5 miliona barela nafte (oko 800 miliona litara). Sagorevanje tolike količine goriva u globalnoj emisiji gasova sa efektom staklene bašte učestvuje sa oko 2%, ali se taj odnos može promeniti –kako druge industrije budu smanjivale svoj *karbonski otisak*, udeo vazduhoplovstva u globalnoj emisiji može narasti do 22% do 2050. godine. (Kete, 2019). Predviđa se da će do 2040.godine potrošnja goriva porasti između 2,8 i 3,9 puta u odnosu na 2010. godinu, dok se očekuje da se za 4,2 puta poveća broj naplaćenih tonskih kilometara (**RTK** - *revenue tonne kilometers*). Za 2050.godinu, procjenjuje se da će potrošnja goriva porasti za četiri do šest puta u odnosu na 2010.godinu, dok se očekuje da se RTK poveća za sedam puta (Vujović,2015). Vazduhoplovstvo je i jak sektor za svetsku i ekonomiju Evropske unije i sve važnije sredstvo transporta za građane i poslovne subjekte EU. Poboljšana povezanost, jeftinije karte i više mogućnosti za letenje učinili su da se ljudi lakše nego ikada ranije povežu sa svojim rođacima, razviju svoj posao ili jednostavno odu na spontani odmor. Rast avijacije takođe obezbeđuje EU stalno rastući broj radnih mesta i pomaže regionalnom razvoju kroz privlačenje aktivnosti i investicija. Svi trendovi ukazuju na kontinuirano povećanje potražnje za prevozom do 2040. godine.(EAER,2019). Međutim, kako se vazdušni saobraćaj povećava iz godine u godinu, isto važi i za *negativne* uticaje na *životnu sredinu i zdravlje*. Zbog toga se smatra prioritetom (UN,EC) da budući razvoj vazdušnog saobraćaja bude usklađen sa politikama *održivosti*. EU je čvrsto opredijeljena za ciljeve Pariskog sporazuma. Da bi postigla svoje ciljeve, Komisija je predložila „Čistu planetu za sve“, stratešku dugoročnu viziju za prosperitetnu, modernu, konkurentnu i klimatski neutralnu ekonomiju do 2050. godine. Reč je o nepovratnom prelazu na nisku i konačno “no-emission mobility” - Vision Zero do 2050! Takođe, krajnji cilj Okvirne konvencije Ujedinjenih nacija o klimatskim promenama (UNFCCC- *United Nations Framework Convention on Climate Change*) predstavlja postizanje stabilnosti koncentracija gasova „*staklene bašte*” u atmosferi na nivou koji bi sprečio nepovratne promene u globalnom klimatskom sistemu.

Specijalni izveštaj o globalnom zagrevanju od 1,5°C (ili Specijalni izveštaj br.15) objavljen je 8. oktobra 2018. godine, nakon što je njegova izrada zahtevana na Konferenciji o klimatskim promenama Ujedinjenih nacija, tri godine ranije. Ovaj izveštaj sadrži više od 6.000 naučnih referenci na kojima je radio 91 naučnik iz 40 zemalja i pruža sliku o rezultatima trenutnih istraživanjima o uticaju koje će na život na zemlji imati globalno zagrevanje od 1,5°C u odnosu na nivo pre industrijske revolucije.U Izveštaju se navodi da će globalna temperatura vrlo verovatno porasti za 1,5°C između 2030. i 2052. godine ukoliko se zagrevanje nastavi trenutnim tempom. Procenjuje se da su antropogeni gasovi sa efektom staklene bašte do sada uticali na porast globalne temperature između 0,8°C i 1,2°C. Međutim, do sada u atmosferu emitovani gasovi ne mogu izazvati zagrevanje od 1,5°C; dalje globalno otopljanje se *može izbeći* u zavisnosti od smanjenja emisija gasova sa efektom staklene bašte. Da bi se zaustavilo dalje globalno zagrevanje, neophodno je da dođe do smanjenja količine gasova ispuštenih u atmosferu pre 2030. godine, a do 2050. godine do povećanja pošumljenih površina za 10 miliona kvadratnih kilometara. Prema Specijalnom

izveštaju, ukoliko se zagrevanje od 1,5°S dogodi, *postoje značajni rizici po zdravlje, način života, ishranu, snabdevanje pijaćom vodom i ekonomski rast širom zemaljske kugle* (Kete,2019).

Valja napomenuti, da klimatske promene *utiču na vazduhoplovstvo*. Porast prosečne temperature vazduha utiče (negativno) na performanse vazduhoplova, učestalost turbulencija, padavina, i drugih parametara realne sredine imaju uticaja na bezbednost i ukupnu operabilnost sistema vazdušnog saobraćaja. U tome svetlu, smanjenje uticaja vazdušnog saobraćaja na životnu sredinu za posledicu ima pozitivno delovanje na sam sistem.

2.3 Mere za ublažavanje stanja

Ključne mere, koje se preduzimaju u cilju globalnog smanjenja negativnih uticaja, koje uzrokuje sistem vazdušnog saobraćaja, mogu se svrstati u sledeće kategorije:

- uvođenje naprednih tehnologija u proizvodnji vazduhoplova (novi materijali, smanjenje težine)
- uvođenje novih tehnologija u proizvodnji efikasnih pogonskih grupa (štedljiviji, tiši motori)
- nove tehnologije proizvodnje pogonskog goriva (alternativna goriva)
- upotreba naprednih tehnologija upravljanja kapacitetom i protokom vazdušnog saobraćaja (precizna prostorna navigacija *P-RNAV, NextGen, SESAR, Free Routs*¹⁰³)
- tržišne (ekonomske) mere (trgovanje emisijama¹⁰⁴, porezi)(Kete,2019., Vujović, 2015)

Zaključak

U ovom radu je dat pregled vrlo široke problematike vezane za *eksternalije* koje se pripisuju vazdušnom saobraćaju. Iako je problem buke dominantno pitanje, ništa manjeg značaja nisu štetne emisije koje produkuje sistem vazdušnog saobraćaja. Štetnost emisija se manifestuje na ljudsko zdravlje na dva osnovna načina: putem zagađenja vazduha i putem uticaja na klimu. Mere koje se preduzimaju radi ublažavanja negativnih uticaja su iz grupe mera koje bi trebalo da doprinesu održivom razvoju (i rastu) vazdušnog saobraćaja, pa su, iz tog razloga, kompleksne i njihova primena je sveobuhvatna i simultana. Odrednica *“čista planeta za sve”*

¹⁰³ Projekat Slobodnog planiranja letenja po jugistočnoj osi (SEAFRA) zajednička je inicijativa eksperata zaduženih za upravljanje vazdušnim saobraćajem u Srbiji, Crnoj Gori, Bosni i Hercegovini i Hrvatskoj.

¹⁰⁴ Šema trgovanja emisijama štetnih gasova (EU ETS) je predložena kao ključni instrument u borbi za efikasno smanjenje industrijske emisije gasova sa efektom staklene bašte. Zahtev da se civilni vazdušni saobraćaj uključi u Šemu trgovanja emisijama usvojen je u novembru 2008. godine, a stupio je na snagu u februaru 2009. U okviru EU ETS, ukupno ograničenje emisija je povećano kako bi se omogućilo uključivanje civilnog vazduhoplovstva, sa dozvolama koje se dodeljuju avioprevoznicima. Količina emisija definisana je kao srednji prosek godišnjih emisija u kalendarskim godinama 2004. i 2005. i 2006, i postavljena na 221.420.279tCO₂. Limit je predviđen da se postepeno smanjuje. Aviokompanije koje odluče da emituju više gasova sa efektom staklene bašte nego što imaju slobodno dodeljenih dozvola su u mogućnosti da nabave dozvole od drugih učesnika u EU ETS (uključujući i one van vazduhoplovnog sektora), posrednika koji trguju dozvolama, država članica putem aukcija ili mogu da koriste specifične količine međunarodnih kredita iz projekata smanjenja emisija u trećim zemljama.

proklamovana od strane EU i UN upravo se zasniva na primeni principa održivosti u vazдушnom saobraćaju u planetarnim razmerama: sve zemlje su pozvane, da u okviru svojih mogućnosti, po jedinstvenom planu, razrade sopstvene akcione planove borbe protiv zagađenja i rušenja klimatske ravnoteže.

Reference:

- [1] EAER:European Aviation Environmental Report, 2019 (doi:10.2822/309946)
- [2] EC: Annual Analyses related to the EU Air Transport Market 2016, Final Report, 2017.
- [3] ICAO Doc 9889: Airport Air Quality Manual, First Edition, 2011.
- [4] UNIQUE: Aircraft Ground Handling Emissions at Zurich Airport-Methodology and Emissions Factors, draft report,2004.
- [5] Vujović P.:“ *Uticaj emisija vazduhoplovnih motora na životnu sredinu*“, Fakultet za saobraćaj, komunikacije i logistiku, Budva, 2015.
- [6] Kete I.: „*Klimatske promene i vazdušni saobraćaj*“,Fakultet za civilno vazduhoplovstvo Beograd, 2019.

