

## UTICAJ IZDUVNIH GASOVA AVIONA NA SUMU GASOVA STAKLENE BAŠTE ATMOSFERE

Božidarka Arsenović<sup>1,2</sup>, Zoran Janjuš<sup>3</sup>, Emil Banjac<sup>3</sup>  
*bokijevmejl@gmail.com*

<sup>1</sup>Nezavisni univerzitet Banja Luka, Ekološki fakultet, 78000 Banja Luka, Republika Srpska, BiH

<sup>2</sup>Gradska uprava Banja Luka, 78000 Banja Luka, Republika Srpska, BiH

<sup>2</sup> Orao AD, 76300 Bijeljina, Republika Srpska, BiH

### Izvod

*Potencijal globalnog zagrijavanja – GWP (Global Warming Potential) je dogovorena veličina koja omogućava da se odredi efekat pojedinog gasa staklene bašte na proces globalnog zagrijavanja. Veličina GWP pokazuje koliko puta više jedinična masa posmatranog gasa doprinosi povećanju globalnog zagrijavanja od jednake mase CO<sub>2</sub>, tokom određenog vremenskog perioda. U radu su prikazani gasovi i materije koji nastaju kao posljedica sagorijevanja pogonskog goriva u motorima aviona kao i njihov uticaj na atmosferu. Rad predstavlja kratak osvrt na ekološki aspekt u vazduhoplovstvu u njegovom doprinosu klimatskim promjenama, kao rezultatu emisije gasova staklene bašte.*

**Ključne riječi:** globalno zagrijavanje; gasovi staklene bašte; vazduhoplovstvo

### UVOD

Od prvog leta čovjeka avionom proteklo je nešto više od stotinu godina. Od tada pa do današnjih dana u vazduhoplovstvu je postignut ogroman napredak u svim sferama modernizovanja, tako da se vazduhoplovstvo, s pravom, može smatrati integralnim i modernim dijelom društva.

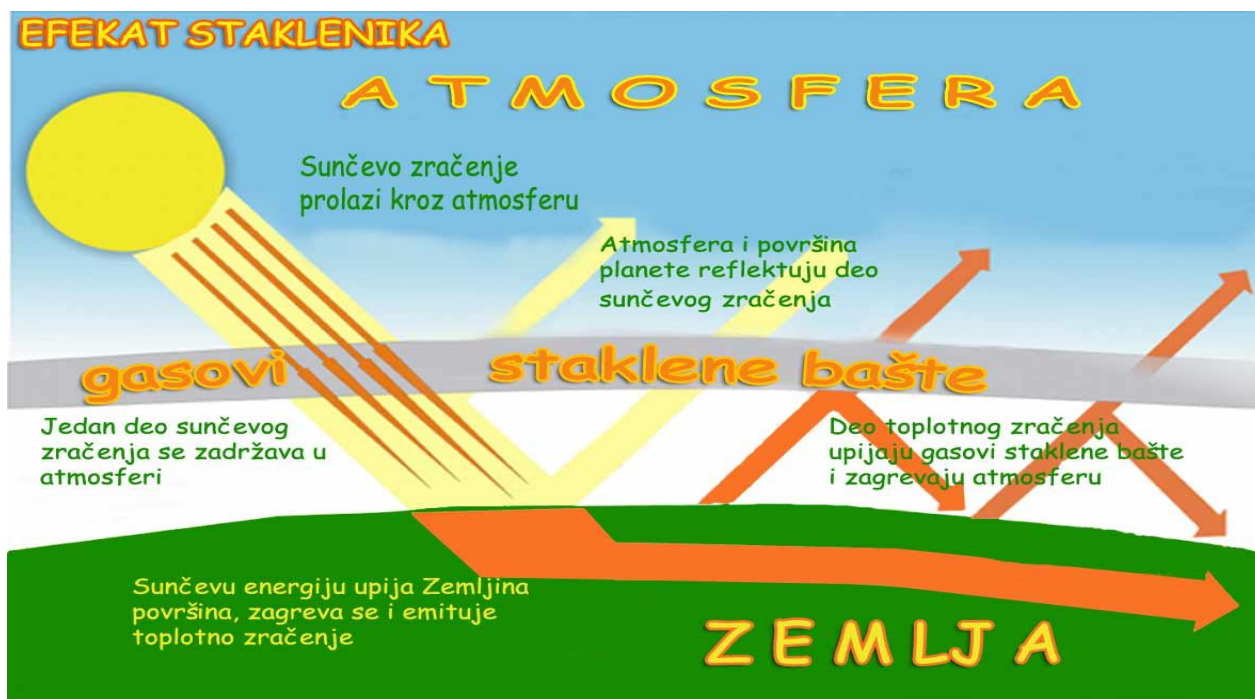
U novije vrijeme, sve očitije promjene klime su vidljivije kako sa, tako i bez egzatnih naučnih analiza. Ove promjene klime imaju prevashodno globalni, dok za njim značajno ne zaostaje i lokalni uticaj. Pouzdano se zna da izduvni gasovi aviona imaju značajan uticaj na sumu staklenih gasova u zemljinoj atmosferi, ali zbog nedostatka istraživanja ove problematike na našim prostorima o njenoj suštini se malo ili skoro nikako ne saopštava. Problematikom štetnog uticaja izduvni gasova koji nastaju kao posljedica sagorijevanja pogonskog goriva u motorima aviona, kao i njenom uticaju na atmosferu, za sada se temeljitije bave pojedine međunarodne vazduhoplovne organizacije, koje se pored ostalog bave i zaštitom životne sredine.

U radu su prikazani gasovi i materije koji nastaju kao posljedica sagorijevanja pogonskog goriva u motorima aviona kao i njihov uticaj na atmosferu. Rad predstavlja kratak osvrt na ekološki aspekt u vazduhoplovstvu u njegovom doprinosu klimatskim promjenama, kao rezultatu emisije gasova staklene bašte.

## GASOVI STAKLENE BAŠTE

Uticaj ljudskog djelovanja u tehnološkoj sferi na zagrijavanje životne sredine, smatra se najočiglednijim u slučaju globalnog zagrijavanja. Od trenutka masovne eksploatacije fosilnih goriva za dobijanje električne energije (sredina 19 do početka 21. vijeka), srednja godišnja temperatur u svijetu je rasla, s napomenom da svi dijelovi svijeta nisu jednako izloženi procesu globalnog zagrijavanja. Proces globalnog zagrijavanja, prevashodno nastaje usljed efekta staklene bašte. Ovaj efekat je posljedica nagomilavanja gasova staklene bašte u višim slojevima atmosfere i poremećaja energetskog bilansa primljene i predate toplote, usljed čega dolazi do porasta temperature nižih slojeva atmosfere i zagrijavanja Zemljine površine.

Na slici 1 dat je slikovit prikaz zagrijavanja planete Zemlje nastalo poremećajem energetske ravnoteže između količine zračenja koje od Sunca prima i u svemir zrači Zemljina površina [7].



Slika 1. Efekat staklene bašte

Najveći dio gasova staklene bašte je prirodnog porijekla, ali upravo onaj dio koji je proizveden ljudskim djelovanjem, narušava osjetljivu ravnotežu i dovodi do narušavanja planete.

Gasovi staklene bašte su gasovi koji imaju asimetrične molekule koji vibriranjem proizvode tkzv. nestacionarni dipolni momenat, usljed kojeg imaju sposobnost da apsorbuju zračenje u određenom dijelu spektra. To su H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, CFC (hlorofluorougljenici), HFC (hidrofluorougljenici) i drugi [1,2].

Potencijal globalnog zagrijavanja - *GWP (Global Warming Potential)* je dogovorena veličina koja omogućava da se odredi efekat pojedinog gasa staklene bašte na proces globalnog zagrijavanja. Veličina GWP pokazuje koliko puta više jedinična masa posmatranog gasa doprinosi povećanju globalnog zagrijavanja od jednake mase CO<sub>2</sub>, tokom određenog vremenskog perioda. Dakle, to je veličina koja omogućava da poredimo razne gasove staklene bašte prema njihovom doprinosu procesu globalnog zagrijavanja. CO<sub>2</sub> ima uvijek GWP =1, bez obzira na posmatrani vremenski period [1].

## MEĐUNARODNE INICIJATIVE ZA KONTROLU EMISIJE GASOVA STAKLENE BAŠTE

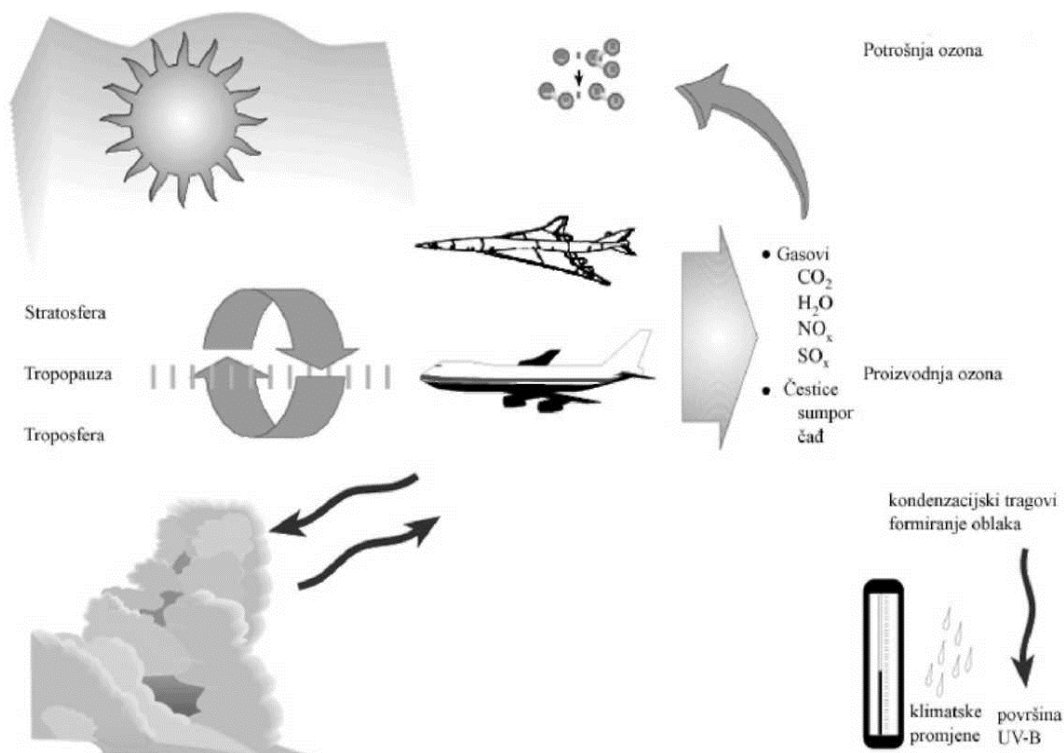
S razvojem tehnologije i tehnike čovjek je započeo proces iskorištavanja resursa planete, te su se kao rezultati takvih djelovanja pojavili mnogobrojni nus-proizvodi, među koje spadaju i gasovi staklene bašte. Ujedinjene nacije su uvidjele prestojeći problem zagađivanja životne sredine, te su već 1987. godine predložile međunarodni sporazum kojim bi se umanjio ljudski uticaj na sloj ozona, O<sub>3</sub> [2]. Ovaj sporazum je poznat kao Protokol iz Montraela, te je njime ograničena upotreba supstanci koje uzrokuju smanjenje sloja ozona. Pored protokola iz Montraela, UN su 1997. godine inicirale u sklopu Okvirne konvencije UN o promjeni klime, UNFCCC potpisivanje međunarodnog ugovora poznat pod nazivom Protokol iz Kyota (Kyoto Protocol), koji obavezuje države potpisnice da smanje emisije gasova staklene bašte u 37 razvijenih država, te državama EU [5]. Oba protokola imaju za cilj smanjenje uticaja čovjeka na atmosferu, međutim ni jedan od njih ne dotiče se u svojim odredbama direktno vazduhoplovstva.

Protokol iz Kyota u svom članu 2 se, između ostalog dotiče i vazduhoplovstva, navodeći da "Stranke obuhvaćene Prilogom 1 slijedit će ograničenja ili smanjenja emisija gasova staklene bašte koji nisu obuhvaćeni Protokolom iz Montreaela a odnose se na goriva iz rezervoara letjelica i pomorskih jedinica, da rade kroz Međunarodne organizacije za civilno vazduhoplovstvo (ICAO) i Međunarodnu organizaciju za pomorstvo (IMO)" [6]. Međunarodna organizacija za civilno vazduhoplovstvo (*International Civil Aviation Organization – ICAO*) predviđa rast vazdušnog prometa za period 1999 – 2010 u domaćem prometu na godišnjem nivou od 3,5% a u međunarodnom za 5,2%. Uzimajući u obzir predhodno, može se očekivati i dodatni uticaj povećanja prometa na emisiju izduvnih gasova aviona na regionalnom i globalnom nivou, povećavajući time svoj uticaj u sumi gasova staklene bašte u atmosferi.

Kako bi se detaljnije istražili efekti emisije gasova staklene bašte koje proizvode avioni na klimatske promjene, formiran je Međuvladin panel o klimatskim promjenama (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC* koji je vodeće tijelo za procjenu klimatskih promjena, formiran od strane UN-ovog programa o životnoj sredini (*United Nations Environmental Programme – UNEP*) i Svjetske meteorološke organizacije (*World Meteorological Organization – WMO*), s ciljem da se prikaže trenutno stanje klimatskih promjena i potencijalno socijalno-ekonomskih posljedica kao i posljedica po životnu sredinu.

Poseban osvrt na uticaj emisije gasova staklene bašte koji nastaju kao posljedica sagorijevanja avionskog goriva dat je u specijalnom izvještaju od strane IPCC-a "Vazduhoplovstvo i globalna atmosfera". Ovaj specijalni izvještaj IPCC-a objavljen je maja mjeseca 1999. godine i predstavlja jedan od najdetaljnijih izvještaja po pitanju vazduhoplovstva i njegovog uticaja na klimu i ozon naše planete. Izvještaj sadrži pregled stanja iz prošlosti (statistička, naučna i druga zapažanja) kao i predviđanje stanja u narednom periodu (do 2050. godine).

Izvještajem su obuhvaćeni svi gasovi i čestice emitovane od strane aviona u gornjoj atmosferi i uloga istih u izmjenama hemijskih karakteristika atmosfere kao i uzroke pojavljivanja kondenzacijskih tragova te oblaka cirusa. Izvještaj obuhvata: kakve su moguće izmjene reflektivnih karakteristika atmosfere kao rezultat ovih procesa koji mogu dovesti do klimatskih promjena; kakve su mogućnosti izmjena ozona koje mogu uzrokovati promjenu stepena UV-zračenja koje dostiže površinu zemlje. Izvještaj obuhvata i koje su moguće izmjene u tehnologiji izrade letilica, vazдушnim operacijama i institucionalnim, regulatornim i ekonomskim okvirima koji mogu u budućnosti uticati na nivo emisija, (nije obuhvaćen uticaj emisije iz motora koji utiče na kvalitet vazduha u blizini površine zemlje (aerodromi). Na slici 2 prikazan je uticaj emisije izduvnih gasova aviona [5].



Slika 2. Vazduhoplovstvo u atmosferi

Većina aviona leti u predjelu troposfere i donje stratosfere, dakle, na visinama između 9 i 20 kilometara iznad površine zemlje. Komercijalni putnički avioni, danas su isključivo podzvučnog (subsonic) tipa i lete na visinama do 13 kilometara [3]. Većina emisija izduvnih gasova i čestica odvija se na visinama do 13 kilometara iznad zemljine površine. Dio emisije se oslobađa i na površini zemlje (na aerodromima prilikom polijetanja i slijetanja).

## IZDUVNI GASOVI AVIONA I ATMOSFERA ZEMLJE

Gasovi i čestice koji nastaju sagorijevanjem pogonskog goriva aviona su: vodena para ( $H_2O$ ), ugljen dioksid,  $CO_2$ , azot monoksid,  $NO$ , azot dioksid,  $NO_2$  ( $NO$  i  $NO_2$  zajednički se označavaju kao  $NO_x$ ), sumporni oksidi,  $SO_x$  i čađ [3,5]. Ovi elementi procesa sagorijevanja pogonskog goriva, se uglavnom zadržavaju u dijelu troposfere koji se odlikuje visokom vlažnošću i nešto višom temperaturom, u čijim donjim slojevima, uglavnom dolazi do zagrijavanja atmosfere a zagrijavanje opada sa porastom visine.

Gasovi i čestice se razrijeđuju i nepovratno povezuju sa prirodnim i antropogenim česticama vazduha. Ipak, motori aviona i sagorijevanje pogonskog goriva u njima su specifični po tome što se cio proces većinom odvija u gornjoj troposferi i donjoj stratosferi.

I ako su emisije gasova staklene bašte koje proizvode avioni u letu relativno male u odnosu na emisije ostalih industrijskih grana, one predstavljaju jedan od faktora uvećanja sume istih. Transport, kao grana industrije, danas proizvodi ukupno 13% emisije gasova staklene bašte a od toga vazduhoplovstvo proizvodi približno 2% emisije CO<sub>2</sub> u ukupnoj sumi [5].

**Ponašanje CO<sub>2</sub> u atmosferi** je jednostavno i jasno razumljivo. Ne postoje bitniji samostalni procesi stvaranja ili razaranja koji se dešavaju u atmosferi. Izvori i ponori u atmosferi se u principu dešavaju na Zemljinoj površini i uključuju razmjenu između biosfere i okeana. Uticaj CO<sub>2</sub> na klimatske promjene je direktan i jednostavno zavisi od njegove koncentracije u atmosferi. Molekule CO<sub>2</sub> apsorbuju izlazni direktan uticaj poremećaja energije zračenja emitovane od strane Zemljine površine i donje atmosfere. Povećanje koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi u iznosu od 25 - 30% u proteklih 200 godina je uzrokovalo zagrijavanje troposfere i hladenje stratosfere. Količina CO<sub>2</sub> koji nastaje procesom sagorijevanja pogonskog goriva aviona se određuje ukupnom količinom ugljenika u gorivu, jer je CO<sub>2</sub> nezaobilazan konačni proizvod procesa sagorijevanja (kao što je i voda). Ovaj CO<sub>2</sub> u atmosferi prati iste putanje kao i one molekule CO<sub>2</sub> emitovane u atmosferu od strane bilo kog izvora. Ipak, CO<sub>2</sub> emitovan od strane aviona se miješa sa vazduhom u okruženju, te se ne može razdvojiti od ostalih CO<sub>2</sub> koji nastaju od drugih fosilnih goriva, jer su efekti na klimu jednaki. Stopa rasta CO<sub>2</sub> nastalog od strane pogonskog goriva aviona je viša nego globalna stopa ekonomskog rasta, tako da će doprinos vazduhoplovstva, zajedno s ostalim oblicima transporta, ukupnoj emisiji nastaloj čovjekovom djelatnošću da naraste u narednim godinama.

**Vodena para (H<sub>2</sub>O)** i oblaci imaju veliki uticaj na poremećaj energije zračenja i direktno utiču na hemijski sastav troposfere, posebno u polarnim područjima nestanka ozona kroz formiranje oblaka u polarnom području stratosfere. Emisija vodene pare od strane globalne vazduhoplovne flote u troposferu je relativno mala u poređenju s kretanjima prirodnog hidrološkog procesa. Uprkos tome, mora se uzeti u obzir uticaj kondenzacionih tragova i povećano formiranje oblaka cirusa. Vodena para opstaje u troposferi oko devet dana. U stratosferi, vremenski period iščezavanja bilo kakve emisije vode nastale sagorijevanjem pogonskog goriva aviona je duži (mjesec do nekoliko godina) nego u troposferi i postoji veća šansa za povećanje koncentracije u atmosferi. Bilo kakvo povećanje vode može imati dva efekta: a) direktan uticaj poremećaja energije zračenja s kontinuiranim uticajem na klimu i b) uticaj na hemijski sastav ozona u stratosferi te za posljedicu češće pojavljivanje oblačnosti na višim visinama polarnog dijela stratosfere.



**Azotni oksidi ( $NO_x$ );** azotni oksid je gas veoma prisutan u atmosferi. Ima veliki uticaj na hemijski sastav troposfere i stratosfere te igra važnu ulogu pri procesu nastanka i uništavanja ozona. Postoje brojni izvori nastanka azot oksida a neki od njih su: oksidacija  $N_2O$ , sijevanje (grmljavinsko), izgaranje fosilnih goriva i drugi. Ovi procesi dodatno doprinose koncentraciji azotnih oksida u gornjim dijelovima troposfere i njihov doprinos ukupnoj koncentraciji je još uvijek nedovoljno istražen. Emisije  $NO_x$  utiču na hemijski sastav atmosfere, njihove reakcije posebno pogađaju koncentracije ozona u zavisnosti od lokacije i vremenskog perioda. Emisije  $NO_x$  nastale sagorijevanjem pogonskog goriva aviona imaju tendenciju povećanja količine ozona u gornjoj troposferi i donjoj stratosferi. To povećanje ozona predstavlja njegov doprinos efektu gasova staklene bašte. Smanjenje trajanja atmosfere i koncentracija  $CH_4$  predstavljaju osnovne posljedice emisije  $NO_x$ . Dijametralno suprotan efekt postižu emisije  $NO_x$  na višim visinama, od 18 kilometara u stratosferi, gdje dolazi do smanjenja količine ozona.

**Sumporni oksidi i čađ ( $SO_x$  i  $H_2SO_4$ );** antropogene aerosoli uključuju aerosolne sulfate i čađ koji nastaju izgaranjem fosilnih goriva, dok na drugoj strani postoje i ugljenikove aerosoli koje nastaju u procesima izgaranja biomasa i fosilnih goriva. U izduvnim gasovima aviona nalazi se mješavina čestica i gasova koje su posljedica djelimičnog izgaranja pogonskog goriva (čađ) i  $H_2SO_4$  kao proizvod sumpora koji se nalazi u gorivu. Ove čestice imaju sposobnost da pod određenim uslovima (temperatura i vlažnost) stvaraju kondenzacijske tragove i oblake (cirusi) u gornjem sloju troposfere. Neuravnotežena sposobnost reflektovanja sunčeve svjetlosti nazad u svemir i zadržavanje izlaznog infracrvenog zračenja odbijenog od površine Zemlje, predstavljaju osnovni uticaj oblaka na klimatske promjene. Čestice čađi, takođe predstavljaju bitan hemijski faktor za stratosferu, gdje čestice sulfata čine sloj odgovoran za određivanje količine  $NO_x$  na tim mjestima, bilo kakva promjena sloja čestica bi uticala na količinu ozona u stratosferi.

**Kondenzacijski tragovi** ne spadaju u gasove staklene bašte, ali nastaju prilikom procesa sagorijevanja pogonskog goriva aviona. Nastaju prilikom hladenja vrućih izduvnih gasova koji izlaze iz motora kroz mlaznicu te miješanjem sa vazduhom u okruženju koji, da bi nastao kondenzacijski trag, mora imati visok stepen vlažnosti ili da dovoljno nisku temperaturu. Kondenzacijski tragovi su interesantni jer predstavljaju vrstu oblačnosti u atmosferi. Promjene u stepenu oblačnosti u Zemljinoj atmosferi može uticati na temperaturu zemlje jer se ovi antropogeni oblaci ponašaju slično kao i oblaci nastali prirodnim procesima na velikim visinama. Njihovi uticaj na povećanje stepena oblačnosti se ogleda na dva načina; u prvom slučaju kondenzacijski tragovi predstavljaju oblake cilindričnog i duguljastog oblika koji se ne bi pojavili u atmosferi da nema prolaska aviona i u drugom slučaju, ovi antropogeni oblaci rastu i pretvaraju se u raširene cirus-oblake koje ne možemo razlikovati od cirusa prirodnog porijekla. Oblaci nastali kao posljedica kondenzacijskih tragova aviona pokrivaju površinu od cca 0,1% površine Zemlje. Pretpostavlja se da će do 2050. godine površina prekrivena ovim antropogenim oblacima iznositi oko 0,5%.

## ZAKLJUČAK

I ako protokolima iz Montreala i Kyota nije striktno definisana problematika gasova staklene bašte koje stvaraju avioni, oni se u jednoj mjeri, ipak, odnose na avione, jer je u njima predviđeno smanjenje ukupne emisije gasova koji nastaju pod uticajem čovjeka. Inicijative, poput IPCC-a, koje su imale za cilj da prikažu stanje emisije gasova staklene bašte koji nastaju od aviona, pokazuju da međunarodna zajednica pokušava da stavi pod nadzor, apsolutno sve emisije antropogenog porijekla. Specijalni izvještaj IPCC-a "Vazduhoplovstvo i globalna atmosfera" je po prvi put prikazao trenutni uticaj vazduhoplovstva na emisiju gasova staklene bašte. Mnogi gasovi, koji nastaju izgaranjem pogonskog goriva a koje je fosilnog porijekla kao i većina pogonskih goriva, ne samo da imaju podjednak uticaj, kao i oni izduvni na/ili blizu zemlje, već da imaju i dodatni efekat, obzirom da se ispuštaju na velikim visinama.

Definicija Okvirne konvencije Ujedinjenih nacija o promjeni klime uvodi koncept razlike između uticaja aktivnosti čovjeka (klimatske promjene) i efekata na klimu koji bi se dogodili bez uplitanja čovjeka (klimatske varijacije).

Već predložene i planirane mjere od strane čovjeka pokazuju da se, ipak, odmičemo od strane isključivo tržišno orjentisane ekonomije ka aspektu prijateljskog raspoloženja ka našoj životnoj sredini.

## LITERATURA

- [1] D. Antonijević, Ekosistemske tehnologije, Beograd, 2009.
- [2] E. J. Penner, Aviation and the Global Atmosphere. San Joce: IPCC, 1999.
- [3] Č. Višekruna, Vazduhoplovni pogonski materijali (deo I) Goriva, Beograd, 1988.
- [4] B. Rašuo, Tehnologija proizvodnje letilica, Beograd, 1995.
- [5] E. Muratović, Dž. Ibraković: Socijalno ekološki aspekti ispušnih gasova zrakoplova u sumi stakleničkih gasova u zemljinoj atmosferi: Fakultet političkih nauka, Sarajevo, 2010.
- [6] <http://www.info.org>
- [7] <http://www.eko.vojvodina.org.rs>.



## EFFECT AIRCRAFT EXHAUST GASES ON SUM OF GREEN-HOUSE ATMOSPHERE GASES

Božidarka Arsenović<sup>1,3</sup>, Zoran Janjuš<sup>2</sup>, Emil Banjac<sup>3</sup>  
*bokijevmejl@gmail.com*

<sup>1,3</sup>*Independent University Banja Luka, Faculty of Environmental, 78000 Banja Luka,  
Republic of Srpska, B&H*

<sup>2</sup>*City of Banja Luka, 78000 Banja Luka, Republic of Srpska, B&H*

<sup>2</sup>*Orao JSC, 76300 Bijeljina, Republic of Srpska, B&H*

### **Abstract**

*Global Warming Potential – GWP is an agreed quantity which enables determination of an individual green-house gas effect on a global warming process. GWP quantity illustrates how a unit mass of an observed gas contributes to increase of global warming more than an unique mass of CO<sub>2</sub>, during certain period of time. The paper shows gases and substances resulted from combustion of aircraft engine fuel, so as their affect to the atmosphere. The paper is a short view of an ecological aspect of aeronautics contribution to climate changes, as well as to results of green-house gas emission.*

**Key words:** *global warming; green-house gases; aeronautics*

