

UTICAJ EMISIJE ŠTETNIH GASOVA VAZDUHOPLOVA NA ŽIVOTNU SREDINU

*Dr Olja Čokorilo **

Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Slobodan Gvozdrenović

Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Petar Miroslavljević

Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu

Dr Ljubiša Vasov

Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu

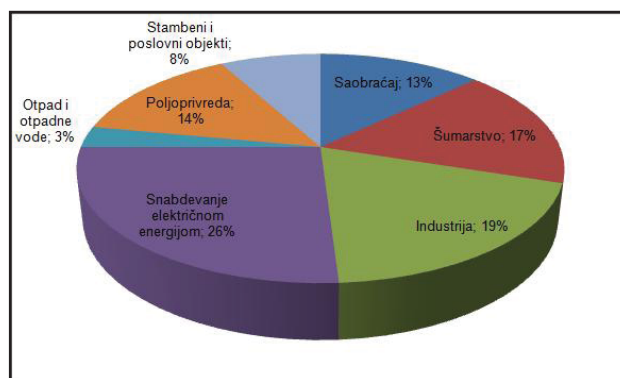
Vazdušni saobraćaj predstavlja jedan od značajnijih generatora emisije štetnih gasova koji negativno utiču na životnu sredinu. U tom smislu razvijena su brojna rešenja i preporuke koje se odnose na redukciju emisije štetnih gasova vazduhoplova. S obzirom na kontinualni globalni rast vazdušnog saobraćaja, potrebno je ustanoviti metodologiju koju je moguće efikasno primeniti u posmatranom sistemu vazdušnog saobraćaja, a u cilju redukcije emisije štetnih gasova. U ovom radu je prikazan uticaj emisije štetnih gasova vazduhoplova na globalno zagađenje i kvalitet lokalnog vazduha u okolini aerodroma, i analizirane su postojeće metode, posebno u pogledu ICAO preporuka, koje se odnose na emisiju štetnih gasova aviona i/ili njegovih sistema: pogonska grupa, APU, itd. U zaključku ovog rada ukazano je na mogućnosti i preporuke za primenu metoda za definisanje nivoa zagađenja u sistemu vazdušnog saobraćaja Republike Srbije.

Ključne reči: vazduhoplov, životna sredina, emisija štetnih gasova

UVOD

Uticaj vazdušnog saobraćaja na životnu sredinu i klimu sve više privlači pažnju javnosti, ali i samih vazduhoplovnih organizacija. Izduvni gasovi motora vazduhoplova slični su onima koji nastaju kao posledica sagorevanja fosilnih goriva. Trenutno, vazdušni saobraćaj ima relativno mali doprinos efektu "staklene bašte", ali najnovija istraživanja pokazuju potrebu za hitnim angažovanjem svih sektora sa ciljem smanjenja ukupnih emisija [3]. Vazdušni saobraćaj, u odnosu na druge vidove transporta, učestvuje sa 2% u ukupnoj proizvodnji ugljen – dioksida (CO₂) antropogenog porekla. Međutim, pored ugljen – dioksida (CO₂), kao i ostali izvori zagađenja, emituje i druge gasove i materije koje utiču na okolinu. Prema podacima IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) prikazano je učešće sektora saobraćaja u emisiji štetnih gasova u odnosu na druge sektore (Slika 1).

Vazduhoplovna industrija je u stalnom porastu. Očekivana godišnja stopa rasta vazdušnog

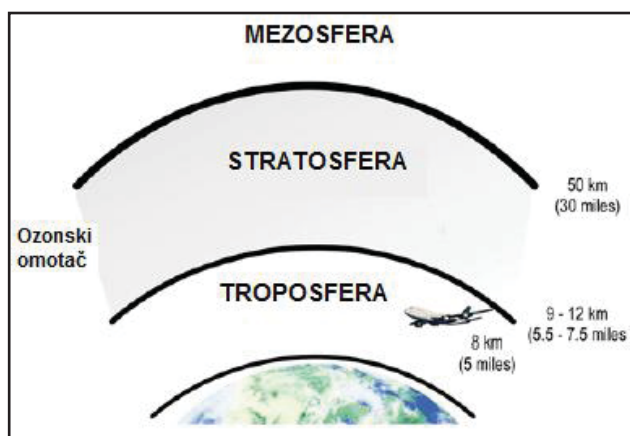


Slika 1. Učešće sektora transporta u emisiji štetnih gasova (2004. godina)

saobraćaja je 5% za narednih 20 godina, a u nekim delovima sveta, npr. Kina, procenjuje se na čak 9%. Održivi razvoj industrije zahteva potpunu procenu uticaja na ekologiju, globalno i lokalno [4]. Sa globalne strane posmatrano, avio zagađenje utiče na klimatske promene. Pod klimatskom promenom podrazumeva se svaka promena klime tokom vremena, bilo kao rezultat prirodnih varijacija, bilo kao rezultat ljudske

aktivnosti. Emisije gasova koji utiču na efekat „staklene bašte“, npr. CO₂, stvaraju pozitivnu silu radijacije, što dugoročno deluje na zagrevanje zemljine površine. Postoje i drugi, kratkoročni uticaji, usled formiranja cirusne oblačnosti, azotnih – oksida (NO_x) i različitih čestica koji, takođe, doprinose globalnom zagrevanju. Ovi gasovi zadržavaju toplotu u zemljinoj atmosferi i remete prirodne klimatske tokove. Tokom prethodnog veka temperatura je porasla za 0.74^oC sa trendom rasta u daljoj budućnosti. Procena je da će se u ovom veku povećati i do 3^oC. Vazduhoplovi u većini slučajeva lete na visinama krstarenja između 8km i 13km. Tokom leta oslobađaju gasove i čestice direktno u gornje slojeve troposfere i donje stratosfere i na taj način utiču i menjaju strukturu atmosfere i oblaka narušavajući ravnotežu toplotnog zračenja zemlje (Slika 2).

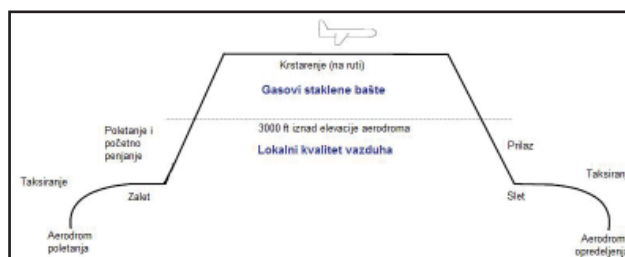
Značaj uticaja ovakvih emisija teško je odrediti [5,6]. Globalne promene klime prouzrokovane su akumulacijom gasova staklene bašte u nižim delovima atmosfere. Konkretno, radi se o ugljen – dioksidu (CO₂), vodenj pari (H₂O), azotnim – oksidima (NO_x), ugljen – monoksidu (CO), ugljovodonicima (HC), aerosolima – oksidi sumpora (SO_x) i čađi. Prema nalazima stručnjaka, ono što najviše zabrinjava je CO₂ i prema procenama ICAO, 2005. godine je oslobađeno 600 miliona tona CO₂ samo od vazdušnog saobraćaja.



Slika 2. Slojevi zemljine atmosfere

Vazdušni saobraćaj utiče i na kvalitet, odnosno zagađenje lokalnog vazduha. Ova zagađenja ne potiču samo od vazduhoplova već i od indukovanih saobraćaja u okolini aerodroma, opreme na zemlji za prihvatanje i otpremu vazduhoplova i ostalih izvora vezanih za funkcionisanje aerodroma.

Štetan uticaj emisija na lokalni kvalitet vazduha odnosi se pretežno na zdravlje ljudi, što se, između ostalog, odnosi na probleme koji mogu nastati u respiratornom traktu, kao i na kardiovaskularne bolesti. Gasovi koji se pojavljuju kao zagađivači slični su onima koji su pomenuti kao gasovi staklene bašte, a to su: azotni oksidi (NO_x) pre svega azot – monoksid i azot – dioksid, ugljen – monoksid (CO), oksidi sumpora (SO_x), nepotpuno sagoreli ugljovodonicima (HC) i dim. Čestice (Particulate Matter – PM), veličine 2.5 mikrona – PM_{2.5} i 10 mikrona PM₁₀ imaju najopasniji uticaj na zdravlje u odnosu na ostale štetne emisije. Stvaranju ovih zagađivača doprinose i ostali izvori vezani za aerodrom, a koji uključuju sagorevanje fosilnih goriva, npr. oprema za prihvatanje vazduhoplova na zemlji (autobusi za putnike, cisterne za gorivo, traktori i sl.), različita vozila na zemlji (privatni automobili, taksi, vozovi, autobusi), postrojenja za snabdevanje energijom, pomoćne energetske jedinice (GPU - Ground Power Unit) kao i obližnji aerodromi. Ovde nema velikog uticaja CO₂, na lokalni kvalitet vazduha,



Slika 3. Oblast gasova staklene bašte (GHG) i lokalnog kvaliteta vazduha (LAQ)

on se pre svega smatra gasom staklene bašte. Za procenu kvaliteta tj. stepena zagađenja lokalnog vazduha, posmatraju se emisije štetnih gasova koje nastaju tokom ciklusa sletanja i politanja – LTO (landing and take-off) ciklus. Ove emisije uglavnom se pojavljuju do visine od 3000ft (915m) iznad aerodroma (Slika 3).

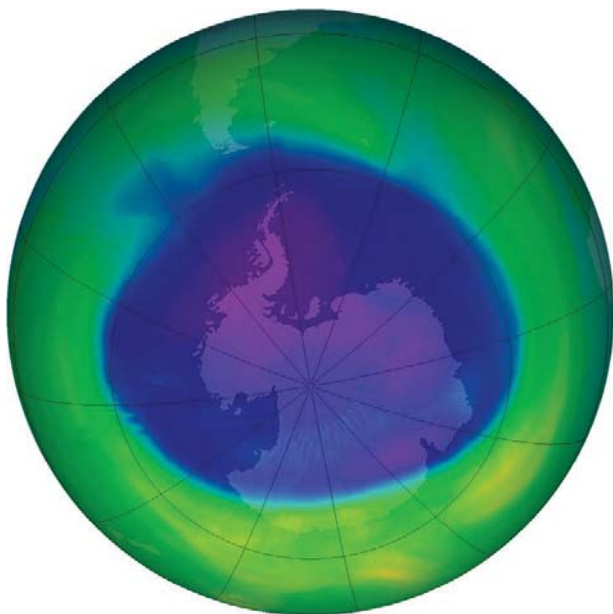
Postoji nekoliko načina delovanja u cilju smanjenja i ublažavanja štetnih emisija. Osnovni pravci, i za gasove staklene bašte i za one koji utiču na lokalni kvalitet vazduha su: tehnologija i standardi, operativne mere i tržišne mere. Da bi se znalo u kojoj meri treba delovati, potrebno je odrediti stepen zagađenja vazduha u okolini aerodroma.

UTICAJ EMISIJA ŠTETNIH GASOVA VAZDUHOPLOVA NA GLOBALNO ZAGAĐENJE

Ozonski omotač

Ozonski omotač je sloj zemljine atmosfere koji sadrži relativno visok procenat ozona (O_3). Ovaj sloj upija između 93% - 99% sunčevog ultraljubičastog zračenja (UV – A, UV – B, UV – C), koje može biti veoma štetno za život na Zemlji [9]. Posebno UV – C koje je potpuno odbijeno ozonskim omotačem na visini od oko 35km, dok intenzitet UV – B zraka smanjuje i do 350 puta. Preko 91% ukupnog ozona nalazi se u ovom sloju. Najveći deo se nalazi u donjem delu stratosfere, približno između 10 do 50km (32000 – 164000ft) iznad površine zemlje.

Ozon se stvara tako što ultraljubičasti zraci pogađaju molekule kiseonika (O_2) i dele ih na pojedinačne atome (Slika 4). Elementarni kiseonik se tada vezuje sa nepodeljenim molekulom kiseonika i stvara ozon. Molekul ozona je takođe hemijski nestabilan, iako u stratosferi ima dug vek, i kada ga pogode UV zraci deli se na molekul kiseonika (O_2) i atom kiseonika (O), nastavljajući proces koji se naziva ciklus ozon – kiseonik.



Slika 4. Ozonski omotač

Koncentracija ozona je najveća od 20 do 40 km gde se kreće između 2 – 8 delova prema milion. Kada bi se sav ozon sveo na pritisak na nivou mora imao bi svega nekoliko milimetara debljine.

Svega 10% ozona nalazi se u troposferi, deo atmosfere gde se odigravaju sve vremenske pojave. Debljina ozonskog omotača zavisi od doba godine i geografske širine; tokom proleća i na polovima je deblji, a u jesen i na Ekvatoru je tanji. Razlozi za ove pojave su veoma složeni, a u vezi su sa atmosferskom cirkulacijom i jačinom sunčevog zračenja.

Na smanjenje ozonskog omotača utiču azot – monoksid (NO), azot dioksid (NO_2), hidroksilna grupa (-OH), atomski hlor (Cl) i atomski brom (Br). Ove komponente postoje u prirodi, ali se količina znatno povećala usled ljudske aktivnosti. Sposobne su da prežive i da se prenesu do stratosfere i tamo usled UV zračenja oslobode radikale i tada svaki može izazvati lančanu reakciju i uništiti i do 100000 molekula ozona. Iznad severne hemisfere nivo ozona se u proseku smanji 4% svake decenije. Na oko 5% zemljine površine, oko severnog i južnog pola uočena su mnogo veća smanjenja (iako sezonska), koja se nazivaju ozonske rupe.

Efekat staklene bašte

Kada sunčeva svetlost stigne do zemljine površine, jedan deo ove energije se apsorbuje i na taj način se zemlja zagreva [8]. Površina zemlje je dosta hladnija od Sunca, pa emituje energiju na većim talasnim dužinama nego što dolazi sa Sunca. Zbog postojanja gasova staklene bašte – GHG, atmosfera upija ove veće talasne dužine bolje nego sunčeve kratke talase. Atmosfera se na ovaj način zagreva. Takođe, atmosfera emituje dugotalasno zračenje i prema zemljinoj površini i prema vasioni. Deo dugotalasnog zračenja atmosfere koji dolazi do zemlje naziva se efekat staklene bašte (Slika 5).



Slika 5. Kruženje energije i efekat staklene bašte

Gasovi staklene bašte – GHG

GHG su gasovi koji su prisutni u zemljinoj atmosferi i koji zagrevaju zemljinu površinu usled efekta staklene bašte. GHG su veoma značajni za održavanje temperature zemlje. Bez ovih gasova zemlja bi bila toliko hladna da život na njoj ne bi bio moguć. Ipak, previše GHG može zagrejati zemlju i do, po čoveka, pogubnih temperatura, kao što su na primer na Veneri -467°C . GHG nastaju mnogim prirodnim i industrijskim (antropogenim) procesima. Najznačajniji GHG vazdušnog saobraćaja su: vodena para (H_2O), ugljen – dioksid (CO_2), azotni oksidi (NO_x), oksidi sumpora (SO_x), ugljen – monoksid (CO), ugljovodonici (HC).

UTICAJ EMISIJA ŠTETNIH GASOVA VAZDUHOPLOVA NA KVALITET LOKALNOG VAZDUHA

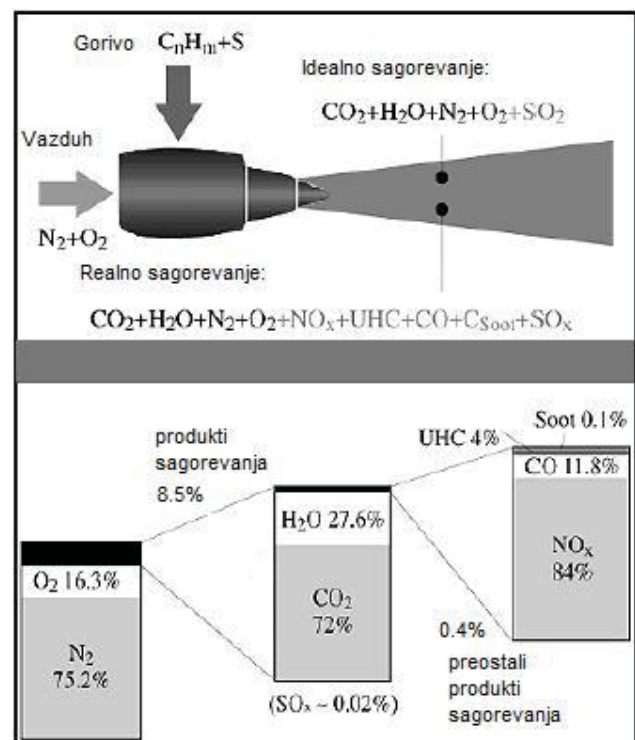
Iako su mnogi avionski motori poboljšani u pogledu efikasnosti i smanjene emisije zagađivača, ne mogu kompenzovati porast obima vazdušnog saobraćaja, pa emisije štetnih gasova i dalje ostaju na visokom nivou (Slika 6). Problemi, koji usled ovoga nastaju, na lokalnom nivou su loš kvalitet vazduha i pojave, poput smoga. Sama reč smog nastala je od reči "smoke" (dim) i "fog" (magla). Klasičan smog nastaje kod sagorevanja velike količine uglja i mešanjem dima i sumpor – dioksida (SO_2). Moderan smog, fotohemijski smog, nastaje od industrijskih i saobraćajnih emisija (NO_x i VOC – lako isparljiva organska jedinjenja) koje u atmosferi reaguju sa sunčevom svetlošću. Lokalno zagađenje doprinosi i promena na globalnom nivou kao što su smanjenje ozonskog omotača i globalno zagrevanje.

Potisak potreban mlaznim avionima stvara se izbacivanjem gasova kroz izduvnik motora [7]. Sagorevanje je neophodan proces za rad mlaznih motora. Idealno, produkti sagorevanja bi bili CO_2 i H_2O . U realnoj situaciji, stvaraju se i dodatni elementi kao što su čađ, ugljovodonici (HC), ugljen – monoksid (CO) koji nastaju kao posledica nepotpunog sagorevanja i NO_x koji nastaje oksidacijom azota koji se nalazi u vazduhu.

Azotni oksidi predstavljaju najveći deo neželjenih produkata sagorevanja. U ovu grupu spadaju NO i NO_2 . Mnogo više ovih jedinjenja se proizvode pri režimu punog gasa nego pri režimu malog gasa, ali i relativni odnos NO i NO_2 zavisi

od režima rada motora. Tako, pri režimu malog gasa većina NO_x je NO_2 dok se pri režimu punog gasa izbacuje više NO od NO_2 . Osim toga, izvan motora NO oksidira u atmosferi, često u reakciji sa ozonom i tako stvara NO_2 . Situacija se komplikuje tako što se ova reakcija može razlikovati od mesta do mesta, što bi značilo da ista količina azotnih oksida npr. ona propisana, ne mora svuda imati isti efekat.

Poznato je da se NO_x formira u najtoplijim delovima komore za sagorevanje i da se njihova količina može smanjiti održavanjem što niže temperature. Sa druge strane, najveća termodinamička efikasnost, a samim tim i najmanja potrošnja, postiže se na visokim temperaturama. Zbog toga, od samog početka kontrole emisije štetnih gasova, postoji potreba za balansom između potrošnje i emisije NO_x .



Slika 6. Hemijski sastav izduvnih gasova mlaznog motora

Ocena kvaliteta vazduha

Kvalitet vazduha se u većini sredina reguliše kombinacijom nacionalnih, regionalnih, i lokalnih zakona, koji postavljaju standarde izvora emisija štetnih gasova i dozvoljenu količinu zagađivača i definišu načine i procedure za postizanje tih standarda.

Dve glavne oblasti u proceni kvaliteta vazduha

su popis emisija i model raspodele koncentracije zagađenja. Popis emisija daje ukupnu masu oslobođenih emisija i pruža osnovu za izveštaje, usaglašavanja, planiranje ublažavanja i može se koristiti kao ulazni podatak za modeliranje koncentracije zagađenja. Da bi se povezale emisije sa koncentracijom zagađenja potrebno je obraditi i izmeriti prostornu i vremensku raspodelu gasova. Ovakav kombinivani pristup korišćenja popisa emisija i modela raspodele koncentracije zagađenja daje mogućnost ocene prošle, trenutne i buduće zagađenosti u blizini aerodroma ili od pojedinačnih izvora. Trenutna zagađenost može se proceniti i merenjem stanja okoline (uzorkovanjem i posmatranjem), mada na ovu metodu mogu uticati i izvori koji su udaljeni i nisu u vezi sa aerodromom.

Kvalitet lokalnog vazduha može se opisati kao stanje okolnog vazduha kome su ljudi i priroda izloženi. Određivanje kvaliteta vazduha se u većini slučajeva zasniva na koncentraciji štetnih gasova, kako prirodnog, tako i antropogenog porekla. Ove koncentracije se porede sa pravilima i standardima koji su ustanovljeni da bi definisali prihvatljive veličine za lokalni kvalitet vazduha, kao i neophodne mere da bi se to postiglo.

Postoje mnogi pritisci kojima su izložene države po pitanju zagađenja vazduha u blizini aerodroma. Način na koji su reagovala vazduhoplovne vlasti bio je, između ostalog, ICAO Annex 16, Zaštita okoline (Environmental Protection), Volume I – Međunarodni standardi za buku (International Noise Standards) iz 1971., a zatim i 1981. Volume II – Standardi vazduhoplovnih emisija (Aircraft Emissions Standards). Ovi dokumenti pokrili su zabranu izbacivanja goriva u letu i ograničenja emisija HC, CO, NO_x i dima, koji je kasnije predstavljen kao SN, dimni broj (Smoke Number). U okviru EU dokument koji se bavi pitanjem kvaliteta lokalnog vazduha je Framework Directive 96/62/EC od 27. septembra 1996., koji se odnosi na procenu i upravljanje LAQ. Dokument koji još dodatno reguliše emisije je 99/30/EC koji pokriva emisije SO₂, NO₂ i NO_x, PM10 i Pb. Sva uputstva EU u skladu su sa svetskom zdravstvenom organizacijom (WHO).

Vlada SAD osnovala je 1963. Agenciju za zaštitu okoline – U.S. EPA (Environmental Protecting Agency), a 1971. izdala je Nacionalne standarde kvaliteta vazduha – NAAQS (National Ambient Air Quality), koji pokrivaju šest zagađivača CO,

Pb, O₃, NO₂, SO₂ i PM10, ali i PM2.5.

ICAO standardi za emisije motora primenjuju se kroz nacionalne i više nacionalne sertifikate na turbofenske motore veće od 26kN potiska, ali ne i na turboprop, klipne, APU, helikoptere i manje biznis mlazne avione. ICAO standardi se bazi- raju na performansama nemontiranog motora u odnosu na idealan LTO do 3000ft (915m) iznad zemlje. Procedure sertifikovanja izvode se na jednom motoru u test ćeliji pri uslovima na nivou mora standardne atmosfere (ISA). Poznato je da se ovi standardi razlikuju od stvarnih emisija aviona na određenim lokacijama i pri određenim uslovima. Zbog toga, jedan od ključnih zadatka za ICAO [1] je da prikaže metodologiju koja daje mogućnost preciznije procene emisija od upotrebe ICAO standarda. Trenutno ne postoje ICAO standardi za PM motora, iako mnoge nacionalne regulative sadrže i taj podatak. Neke regulative prikazuju se kao maksimalne prihvatljive količine, dok druge pokazuju visinu dozvoljenog prevazilaženja. Postoje razlike u dozvoljenim količinama zagađivača između država. Standardi za kvalitet lokalnog vazduha izražavaju se u mikrogramima po metru kubnom (mg/m³) i to specifičnom periodu vremena po zagađivaču (sat, dan, godina).

Sve brža urbanizacija u mnogim zemljama doprinosi da aerodromi privlače sve više novih aktivnosti u svoje okruženje. U nekim državama prostornim planiranjem se pokušava upravljati ovim rastom da bi se sprečilo nekontrolisano širenje okruženja prema granicama aerodroma. Međutim, u prošlosti, većina današnjih velikih „hub“-ova nastala je od manjih aerodroma pa je njihovu poziciju i blizinu naseljenih oblasti bilo teško predvideti. Izgradnjom široke mreže javnog prevoza može se smanjiti količina lokalnih emisija tako da automobili ne moraju biti jedini način pristupa aerodromu.

Standardi i propisi koji se odnose na emisiju štetnih gasova avionskih motora

Trenutno, standardi i propisi koji se tiču aviona i drugih emitera na aerodromima dele se u dve kategorije:

1. mere koje postavljaju limite određenim izvorima emisija. Ovo se odnosi i na ICAO standarde emisija motora (onako kako su usvojeni u nacionalnim i međunarodnim pravilnicima) i na nacionalno uspostavljene

limite za ostale neavionske izvore kao što su stacionarne jedinice i drumska vozila;

2. nacionalne regulative (ili standardi) koje određuju koncentraciju zagađivača za određeni kvalitet vazduha (granične vrednosti LAQ).

Ovu razliku je važno napraviti zbog toga što iako svi izvori pojedinačno mogu biti u dozvoljenim granicama, ukupna koncentracija štetnih gasova može premašiti dozvoljene vrednosti. Ovakva situacija se može dogoditi usled različitih faktora karakterističnih za određenu lokaciju uključujući tu obim drumskog, vazdušnog saobraćaja, topografiju, kratkoročne meteorološke uslove, blizinu ostalim izvorima ili oblastima visoke koncentracije zagađivača.

Tokom vremena ICAO je pooštravao NO_x standarde od njihovog uvođenja. Kada su prvi put, 1981., usvojeni pooštreni su 1993. za 20% zatim 1999. za još 16%, pa 2004. za 12% strožije od onih iz 1999., koji će se primenjivati od 2008. Ukupno, to će doneti oko 40% više limite od prvobitnih ICAO standarda. Paralelno sa ovim promenama dešavale su se promene u istom smeru i u EU.

Priručnik za procenu kvaliteta vazduha u blizini aerodroma (Airport Air Quality Guidance Manual) ICAO Doc 9889

Snimanje stanja emisija (popis)

Aerodromi i njihove pridružene aktivnosti predstavljaju izvore različitih štetnih gasova i čestica. U kontekstu kvaliteta vazduha u blizini aerodroma važno je odrediti da li ukupna količina aerodromskih emisija zadovoljava određene karakteristike. Ova vrednost se određuje popisom emisija. Ciljevi popisa emisija mogu, ne isključivo, biti sledeći:

- sakupljanje informacija o emisijama i predviđanje budućih trendova;
- označavanje emisija koje su iznad propisanih granica;
- priprema podataka za modele raspodela koncentracija zagađivača;
- definisanje programa za ublažavanje.

Prvi korak u ovom procesu je izračunavanje mase emisija, po izvoru i vremenskom periodu. Ove promenljive se računaju korišćenjem informacija o emisionim faktorima (izraženim u

gramima po kg goriva, gramima po satu operacije ili gramima po kW snage) za svaki izvor pojedinačno i značajnim operativnim parametrima tokom određenog vremenskog perioda.

Da bi se izvršilo snimanje stanja emisija potrebno je:

- definisati opšte parametre snimanja stanja kao što su: svrha, prostorna i funkcionalna granica oblasti, učestalost ažuriranja;
- odrediti vrste emisija koje će biti obrađene;
- odrediti postojeće izvore emisija;
- odrediti količinu emisija od postojećih izvora;
- uzeti u obzir i regionalna snimanja stanja emisija u granicama relevantnosti;
- primeniti kontrolu kvaliteta i mere nadzora kako bi se utvrdili rizici i ograničenja podataka.

Parametri snimanja stanja emisija

Sledeće parametre treba uzeti u obzir pri izradi snimanja stanja emisija:

1. svrha popisa – razlog i kasnija upotreba rezultata u velikoj meri određuje i samo snimanje stanja. U slučaju da je potrebno izračunati samo ukupnu masu emisija način izrade snimanja stanja biće jednostavan, ali ako je snimanje stanja potrebno kao deo modela raspodele izrada će biti detaljnija kako bi se rezultati mogli upotrebiti dalje za prostornu i vremensku raspodelu. Samo snimanje stanja emisija mora biti tako izrađeno da njegova izrada ne ograničava njegovu dalju upotrebu.
2. granica sistema – granica sistema određuje prostornu i funkcionalnu oblast u čijoj će granici biti računata količina emisija. Ta oblast može biti granična ograda aerodroma, određena visina, i/ili prilazni putevi do aerodroma. Funkcionalna oblast je obično definisana izvorima emisija koji su funkcionalno povezani sa operacijama na aerodromu, ali bi mogli da se nalaze i van granica aerodroma.
3. ažuriranje – učestalost osvežavanja podataka takođe utiče na popis emisija. Važno je proceniti i potreban trud da bi se odgovorilo na traženo ažuriranje.
4. nivo tačnosti/složenost – nivo tačnosti podataka je određen nivoom zahtevane pouzdanosti i znanja samog analitičara. Postoje tri

Tabela 1. Složenosti pristupa pri snimanju stanja emisija

Pristup	Jednostavan	Napredan	Sofisticiran
Složenost	Potrebno malo znanja, potrebni podaci standardizovani i lako dostupni, jednostavna metodologija.	Potrebno viši nivo znanja i pristup dodatnim podacima vezanim za aerodrom	Potrebno detaljno znanje, saradnja sa različitim jedinicama i pristup kontrolisanim podacima
Tačnost	Ograničena	Dobra	Veoma visoka
Pouzdanost	Niska	Srednja	Visoka

nivoa složenosti pristupa, a to su: jednostavan pristup (Simple Approach), napredni pristup (Advanced Approach), sofisticirani pristup (Sophisticated Approach). Pristupi se mogu i kombinovati, za različite izvore (Tabela 1).

Vrste emisija

Postoje mnogi zagađivači, gasovi i materije, u emisijama vezanim za vazdušni saobraćaj, ali nisu sve uključene u snimanje stanja emisija. Generalno, sledeće vrste bi trebalo posmatrati kao primarne:

1. NO_x – azotni oksidi, NO₂ i NO;
2. VOC (Volatile organic compounds) – lako isparljive organske komponente uključujući i nemetanske ugljovodonike (NMHC);
3. CO – ugljen – monoksid;
4. PM – čestice, veličine PM_{2.5} i PM₅;
5. SO_x – oksidi sumpora.

Ugljen – dioksid CO₂ je ponekad uključen u popis, koristeći ukupnu količinu potrošenog goriva kao osnovu za proračun. Treba napomenuti da je CO₂ pre svega od globalnog značaja, ali se lokalni proračuni mogu dalje koristiti za globalne.

U ranoj fazi istraživanja su i opasni zagađivači vazduha HAPs (hazardous air pollutants), pa vrednosti dobijene za ove emisije ne moraju biti precizne kao za one uobičajene. Neki od primera ovakvih zagađivača su: 1,3 butadien; acetaldehid; akrolein; benzen; dizel čestice; formaldehid; olovo – tiče se goriva sa olovom, npr. AVGAS, koji se koristi za nekoliko manjih tipova aviona; naftalen; propionaldehid; toluen; ksilen;

Vrste emisija na aerodromima

U zavisnosti od specifičnih aktivnosti na određenim aerodromima, ne moraju svi izvori emisija biti prisutni, npr. neki mogu biti locirani van aero-

droma. Da bi se bolje sagledala ova različitost, izvori su podeljeni u četiri kategorije: emisije vazduhoplova; emisije opsluživanja vazduhoplova; infrastruktura; drumski saobraćaj.

1. Emisije vazduhoplova sadrže:

- glavni motor vazduhoplova u okviru određenog radnog perioda (od startovanja do gašenja);
- APU (Auxiliary Power Units), pomoćne pogonske grupe, koje se nalaze na vazduhoplovu i snabdevaju ga strujom i kondicioniranim vazduhom dok je na zemlji i vazduhom za startovanje motora;

2. Emisije opsluživanja vazduhoplova:

- GSE (Ground Support Equipment), oprema za zemaljsku podršku potrebna je prilikom opsluživanja vazduhoplova i uključuje: GPU (Ground Power Units) – jedinica za zemaljsko napajanje, jedinice za klimatizaciju, sajle za manipulisanje, prenosne trake, putničke stepenice, viljuškari i elevatori, traktori, utovarna vozila;
- Saobraćaj na aerodromu – servisna vozila i mašine (čistači, kamioni (katering, gorivo, kanalizacija), automobili, kombiji, autobusi) u okviru granica aerodroma, koji cirkulišu po servisnim putevima;
- Snabdevanje vazduhoplova gorivom – isparavanja iz cisterni za gorivo, kamiona sa gorivom ili cevnog instalacionog sistema tokom operacija snabdevanja gorivom;
- Odleđivanje vazduhoplova – nanošenje sredstava za odleđivanje na vazduhoplove tokom zime;

3. Infrastruktura

- pogonska postrojenja – proizvode energiju za infrastrukturu aerodroma;

- generator za vanredne situacije – dizel generatori za vanredne operacije npr. za zgrade ili svetla na PSS;
- održavanje vazduhoplova – sve aktivnosti i zgrade za održavanje vazduhoplova (pranje, čišćenje, farbanje, stolovi za testiranje motora);
- održavanje aerodroma – sve aktivnosti vezane za održavanje aerodromskih zgrada (čišćenje, popravke, održavanje zelenila) i mašina (održavanje vozila, farbanje);
- gorivo – skladištenje, dopremanje i rukovanje;
- građevinske aktivnosti – sve aktivnosti vezane za aerodromske operacije i razvoj;
- protivpožarne aktivnosti – protivpožarni trening sa različitim vrstama goriva (kerozin, butan, propan, drvo);
- odleđivanje površina – emisije supstanci za odleđivanje površina kretanja aviona (moving areas) i prilaznih puteva;

4. Okolni saobraćaj

- drumski saobraćaj - motori, automobili, kombi-vozila, autobusi na prilaznim putevima, manevarskim površinama, parking mestima, pomoćnim trakama za servisiranje, uključujući i gašenje odnosno startovanje motora i isparavanje goriva.

Ukupna masa emisija čini zbir emisija svakog pojedinačnog razmatranog izvora. Emisije motora vazduhoplova privlače najviše pažnje među emisijama vezanim za vazdušni saobraćaj.

Utvrdjivanje emisija LTO ciklusa

Za utvrđivanje emisija ICAO je definisao LTO ciklus ispod visine od 3000ft (915m) iznad zemljine površine u skladu sa međunarodno priznatom sertifikacijom, procedurama merenja i ograničenjima. Ovaj ciklus se sastoji od četiri faze različitih režima rada motora, izabranih da reprezentuju prilaz, taksiranje, poletanje i penjanje i zapravo je veoma pojednostavljen LTO ciklus. Primer ovakvog pojednostavljenja je da se pretpostavlja da operacija pri najjačoj snazi naglo menja na snagu za penjanje na kraju zaleta i odlepljivanja i da ostaje tako do visine od 3000ft (Tabela 2). Ovakav LTO ciklus služi za poređenja i kao takav iznova se pokazao kao

Tabela 2. Parametri LTO ciklusa

Faza ciklusa	Vreme u režimu (minuti)	Postavka potiska (procenat upotrebljenog potiska)
Prilaz (approach)	4.0	30%
Taksiranje (taxi-in)	7.0	7%
Taksiranje (taxi-out)	19.0	7%
Poletanje	0.7	100%
Penjanje	2.2	85%

veoma pouzdan metod.

Za karakteristike LTO ciklusa se uzimaju vršne (nepovoljne) vrednosti, pre nego prosečne – a sve u cilju što bolje zaštite LAQ. Poznato je da čak i vazduhoplovi istog tipa imaju velike varijacije u stvarnom trajanju operacija i podešavanjima potiska na različitim aerodromima, a da i na istom aerodromu može doći do značajnih razlika u zavisnosti od dana ili u toku istih dana. LTO ciklus podleže mnogim odstupanjima od stvarnih uslova na različitim aerodromima.

Podaci za sertifikaciju emisija štetnih gasova

Testiranja za sertifikaciju emisija se izvode na nemontiranom motoru u opremljenoj i kalibriranoj jedinici. Merenja emisije motora i performansi se izvode na velikom broju različitih podešavanja snage (uglavnom više od 10) koji pokrivaju sve od režima malog gasa do najjače snage i ne samo četiri usvojena ICAO režima. Izmereni podaci se koriguju za referentne uslove performansi motora i ISA uslova na nivou mora i vlažnosti od 0.00634 kg vode/kg vazduha koristeći utvrđene procedure.

ICAO sertifikacija emisija motora za CO, HC, NO_x zajedno sa potrošnjom goriva se unosi za četiri referentna režima potiska definisanih kao poletanje (take-off), penjanje (climb), prilaz (approach) i taksiranje (taxi/idle) i za određena vremena provedena u tom režimu rada (times-in-mode). Emisije dima se izražavaju kao maksimalni SN (Smoke Number) – dimni broj za svaki motor nezavisno od režima rada, a mada za pojedine motore je određen i SN u zavisnosti od

režima rada motora. Ove vrednosti se nalaze u ICAO Engine Emissions Databank.

Pristupi u računanju emisija štetnih gasova

Postoje različite metodologije za računanje količine emisija vazduhoplova – svaka sa određenim stepenom tačnosti i obrnuto proporcionalnim stepenom nesigurnosti. Svrha, odnosno razlog, određivanja emisija uslovljava i koji je nivo preciznosti potreban što dalje daje i određeni pristup. Drugi faktor koji utiče na tačnost je raspoloživost podataka. Uopšte, da bi se dobili što tačniji rezultati ponekad je potrebna i saradnja između različitih izvora u avijaciji, što precizniji metod to je saradnja na višem nivou. Pristupi se mogu kombinovati, pa tako deo analize može biti uređen kao jednostavan, a drugi kao napredni ili sofisticirani. U daljem toku rada govoriće se o tri nivoa pristupa, dva detaljnije, a treći u pregledu:

1. jednostavan pristup je najmanje složen pristup, zahteva minimalnu količinu podataka i daje rezultate sa najvećim stepenom nesigurnosti, često precenjujući stvarnu količinu emisija;
2. napredni pristup uslovljava unapređen nivo određivanja tipova vazduhoplova, EI proračuna i TIM;
3. sofisticirani pristup dat je u pregledu, a dalje će biti razvijen u ažuriranoj verziji dokumenta i očekuje se da će najbolje odslikavati stvarne emisije vazduhoplova. U mnogim situacijama ovakav pristup zahteva podatke koji nisu dostupni široj javnosti.

Kao uvod u detaljno razmatranje svakog pristupa, ICAO je postavio generalni koncept u okviru svakog. Popis počinje pojedinačnim kombinacijama vazduhoplov-motor i generalno se odnosi na operativne i emisione parametre u procesu koji sadrži dva koraka:

Prvi korak: izračunati količinu emisija svake pojedinačne kombinacije vazduhoplov-motor za svaki režim rada u okviru LTO ciklusa, gde se emisije za svaki režim izražavaju kao:

Količina emisija za dati režim rada date kombinacije vazduhoplov-motor =TIM x utrošeno gorivo (za dati režim) x EI (za dati režim) x broj motora

Emisija štetnih gasova za celokupni LTO ciklus čini zbir emisija njegovih pojedinačnih delova. U

sofisticiranim pristupima EI i potrošnja goriva ne moraju biti konstantni tokom TIM.

Drugi korak: izračunati ukupne emisije sabirajući sve kombinacije vazduhoplov-motor za ukupan broj LTO ciklusa za posmatrani vremenski period.

Jednostavan pristup

Ovakav pristup je najosnovniji način za procenu emisije štetnih gasova motora vazduhoplova. Jedini podatak neophodan za rad, a koji se tiče aerodroma, je broj operacija vazduhoplova (tokom posmatranog perioda) i tip svakog od tih vazduhoplova. Ovakav način proračuna koristi se samo za početnu procenu emisija na aerodromu. Za većinu vrsta zagađivača jednostavan pristup je ograničen, što znači da će dobijeni rezultati premašiti stvarne nivoe zagađenja, dok za pojedine vrste emisija i manje uobičajene vazduhoplove konačne vrednosti mogu biti i manje, stoga nije najjasnije koliko je zapravo precizan pojednostavljeni pristup.

Kako je prethodno opisano, u većini slučajeva postoje četiri parametra koja se koriste u proračunu količine emisija štetnih gasova. Jednostavan pristup koristi samo tri: miks flote, emisioni indeks (EI) i operacije. Ovde se ne zahteva poznavanje vrednosti TIM, potiska ili potrošnje goriva kako su sve pretpostavke za njih sadržane u EI. Važno je još napomenuti da ovakav pristup ne sadrži podatke emisija za pojedinačni tip motora već koristi globalno najčešći korišćeni tip motora za dati tip vazduhoplova.

Flota : Za jednostavan pristup dva glavna elementa vezana za flotu vazduhoplova (tip vazduhoplova i motora) su pojednostavljena u listi tipova vazduhoplova za koje su već proračunati emisioni podaci. Za svaki od navedenih vazduhoplova se pretpostavi najčešći globalno korišćeni tip motora i emisije tako predstavljenog vazduhoplova se prikazuju u tabeli u obliku emisionih faktora.

Emisioni indeks EI: U jednostavnom pristupu EI je zamenjen emisionim faktorima baze podataka koja sadrži podatke za pet vrsta zagađivača. Emisioni faktor je izražen u kilogramima vrste zagađivače po LTO ciklusu za svaki tip vazduhoplova.

Operacije vazduhoplova: Za jednostavan pristup potrebno je znati ili bar imati procenu broja operacija (npr. LTO) i tip vazduhoplova na aerodromu za posmatrani period (sat, dan, mesec ili godi-

na). LTO ciklus sadrži jedno sletanje i jedno poletanje, tako da broj poletanja i sletanja na aerodromu treba da bude isti. Ukupan broj sletanja ili poletanja se može koristiti kao ukupan broj LTO. Ako postoje neslaganja u broju sletanja ili poletanja i ako nisu posledica greške u zapisima tada treba usvojiti veći broj u daljem proračunu. Ako nikakvi podaci o operacijama ne postoje tada je potrebno izvesti istraživanje tokom jednog do šest meseci i uzeti u obzir sezonske oscilacije u broju operacija.

Proračun emisija: Za NO_x, HC, CO, SO₂ i CO₂ postoje standardni metodi za proračun emisija štetnih gasova vazduhoplova jednostavnim pristupom:

Emisija zagađivača X (u kg) = Σ [(broj LTO ciklusa za dati tip vazduhoplova) x (emisioni faktor zagađivača X)]

Na sličan način može se izvršiti proračun za potrošnju goriva tokom posmatranog perioda ako je to potrebno:

Potrošnja goriva (kg) = Σ [(broj LTO ciklusa za dati tip vazduhoplova) x (potrošnja goriva)]

Kod jednostavnog pristupa nema proračuna emisija čestica (PM).

Napredni pristup

Napredni pristup predstavlja precizniju procenu emisija motora vazduhoplova u odnosu na jednostavan pristup, jer uzima u obzir pojedinačne modele motora obuhvaće u istraživanju. Svaka faza LTO ciklusa se računa posebno, pa je moguće da se vreme u određenom režimu (TIM) prilagodi pojedinačnom aerodromu i njegovoj konfiguraciji.

Flota: Prvi korak u naprednom pristupu je, kao i kod jednostavnog, odrediti broj operacija ili LTO za određeni tip vazduhoplova. Ova informacija se obično može naći u aerodromskim zabeleškama, što je i najpouzdaniji izvor. Drugi izvor podataka, ako prethodni nije dostupan, može biti iz nacionalne saobraćajne statistike ili od organizacija kao što su EUROCONTROL ili U.S. FAA. Sledeći korak u naprednom pristupu je odrediti na posmatranom aerodromu kombinacije vazduhoplov-motor. Ove podatke uglavnom imaju aerodromi koji te informacije dobijaju od avio-kompanija koje opslužuju. U slučaju da informacije nisu dostupne postoji nekoliko javnih baza podataka kojima se može pristupiti:

1. Međunarodni zvanični vodič aviokompanija (International Official Airline Guide) – IOAG koji sadrži podatke o tipu vazduhoplova, prevozioca i red letenja.
2. BACK registracija svetske flote (BACK's World Fleet Registration Database) – BACK baza podataka sadrži dodatne podatke o floti aviokompanija kao što su svi komercijalni vazduhoplovi u upotrebi širom sveta i ostale parametre.
3. Bucher & Company's JP internacionalna baza podataka aviokompanija – JPFleets je još jedna baza podataka dostupna javnosti koja sadrži kombinacije vazduhoplov-motor za najveće svetske aviokompanije.
4. Kvalitet usluge aviokompanija (Airline Service Quality Performance) – ASQP baza podataka je napravljena od strane SAD ministarstva saobraćaja (U.S. Department of Transportation's) odeljenja za statistiku u saobraćaju (Bureau of Transportation Statistics). Sadrži podatke za oko 20 najvećih SAD avio-kompanija.

U zavisnosti od razloga sa sastavljanje popisa emisija koristi se odgovarajući način spajanja vazduhoplova sa tipom motora. Jedan način je da se odrede pojedinačni tipovi motora koji se pojavljuju u operacijama. Prvo se prikupe informacije o tipovima vazduhoplova, brojevima leta i podacima o sletanju/poletanju za posmatrani aerodrom (npr. koristeći IOAG); tada se odrede tipovi motora koji se nalaze na tim vazduhoplovima koristeći neku od pomenutih baza podataka. Ako nije potreban ovakav nivo preciznosti može se koristiti i alternativni način koji se zasniva na popularnosti, odnosno prisutnosti određenih motora u svetskoj floti. U slučaju da podaci ne daju tačnu kombinaciju vazduhoplov-motor, ona se može pretpostaviti. Na primer, ekstrapolacijom informacije o kombinaciji vazduhoplov-motor na uzorku svetske flote – ako X procenata posmatrane flote B777 ima Y tip motora tada se može pretpostaviti za popis da X procenata B777 koji sleću na dati aerodrom ima Y motore. Treba znati da vazduhoplov može imati određeni tip ili podtip nekog motora što može dovesti do brojnih razlika u emisionim karakteristikama. U takvim situacijama koristi se BACK, JPFleets ili drugi izvori da bi se odredila raspodela motora na osnovu prijavljenih od strane aviokompanija. Nijedna baza podataka nije apsolutno tačna i zbog toga je potrebno da prikupljeni podaci budu

što bliže izvoru za što tačnija merenja.

Vreme u režimu (Time-In-Mode) TIM: Preporuka je da aerodromi mere vremena tipična baš za taj aerodrom i strukturu rulnih staza, uključujući i moguće čekanje u redu za poletanje. Ukoliko ne postoje takvi podaci koriste se ICAO procene TIM.

Emisioni indeks EI i potrošnja goriva: Emisije štetnih gasova motora vazduhoplova sa snagom većom od 26.7 kN su ICAO sertifikovani za NO_x, CO, HC i maksimalni SN, na osnovu standardnog LTO ciklusa, koji su definisani u ICAO Annex 16, Volume II i originalno objavljeni u doc. 9646-AN/943 (1995) [2].

Za najveći broj motora komercijalnih vazduhoplova na glavnim aerodromima potrošnja goriva i EI se nalaze u ICAO Aircraft Engine Emissions Databank, za četiri specifična režima. EI je izražen u gramima zagađivača po kilogramu potrošenog goriva (g/kg), a potrošnja goriva za svaki režim u kilogramima po sekundi (kg/s). Postoje izvori koji se tiču motora koji nisu obuhvaćeni u ICAO podacima:

1. Švedska agencija za odbranu i istraživanje (The Swedish Defence Research Agency) sadrži podatke o turboprop motorima koji nisu dostupni široj javnosti, koji nisu priznati od strane ICAO zbog nepreciznosti koje se pojavljuju usled nereguliranih metodologija testiranja.
2. Švajcarska kancelarija civilnog vazduhoplovstva (Switzerland's Federal Office of Civil Aviation) FOCA koja sadrži podatke o klipnim motorima.

Metodologija izračunavanja emisija za NO_x, CO i HC: Kada se odredi tip vazduhoplova tada je poznat i broj i tip motora. Tip motora dalje određuje EI iz kojeg se računa količina emisija. Da bi se odredila količina emisija za određenu kombinaciju vazduhoplov-motor koristi se sledeća formula. Postupak se ponavlja za svaku kombinaciju za određeni TIM.

$$E_{ij} = \sum (TIM_{jk} * 60) * (FF_{jk}/1000) * (EI_{jk}) * (NE_j)$$

gde je:

E_{ij} = ukupna količina emisija zagađivača i (npr. NO_x, CO ili HC), u gramima emitovana od vazduhoplova j za jedan LTO ciklus;

EI_{jk} = emisioni indeks zagađivača i (npr. NO_x, CO ili HC), u gramima zagađivača po kilogramu

goriva (g/kg goriva), u režimu k (npr. poletanje, penjanje, režim malog gasa, sletanje) za svaki motor na vazduhoplovu j;

FF_{jk} = potrošnja goriva za režim k (npr. poletanje, penjanje, režim malog gasa, sletanje), u kilogramima po sekundi (kg/s), za svaki motor vazduhoplova j;

TIM_{jk} = vreme u režimu k (npr. poletanje, penjanje, režim malog gasa, sletanje), u minutama za vazduhoplov j;

NE_j = broj motora na vazduhoplovu j;

ICAO nema standarde za emisiju SO_x, međutim količina emitovanog oksida sumpora je u funkciji količine sumpora u korišćenom gorivu. Istraživanjem koje je sproveda EPA o sadržaju sumpora u gorivu komercijalnih vazduhoplova došlo se do prosečne vrednosti od 1 gram na 1000 grama potrošenog goriva – $EI_{sox} = 1 \text{ g/kg}$ goriva.

$$E_k = \sum (TIM_k * 60) * (ER_k) * (NE_k)$$

gde je:

E_k = ukupna emisija SO_x u gramima za vazduhoplov tipa k za jedan LTO ciklus;

NE_k = broj motora na vazduhoplovu j;

$$ER_k = 1 * (FF_k)$$

pri čemu je:

ER_k = emisiona stopa ukupnog SO_x u gramima

SO_x emitovanog u sekundi pri režimu k;

FF_k = potrošnja goriva po režimu u kilogramima u sekundi (kg/s), za svaki motor na vazduhoplovu tipa k;

Operacije vazduhoplova: Slično kao i kod jednostavnog pristupa potrebno je znati broj operacija vazduhoplova po kombinaciji vazduhoplov-motor. Kada se izračunaju emisije za LTO ciklus svake kombinacije vazduhoplov-motor koristeći prethodne jednačine, ukupna količina emisija se dobija množenjem pojedinačnih emisija za jedan LTO ciklus za svaku kombinaciju vazduhoplov-motor brojem operacija za ceo posmatrani period.

Sofisticirani pristup

Za potrebe veće preciznosti rezultata koristi se sofisticirani pristup. Ovakav pristup prevazilazi podatke u vezi LTO ciklusa i TIM i koristi stvarne

vazduhoplov-motor podatke operativnih performansi. Pri korišćenju ovog pristupa može se dogoditi da određeni potrebni podaci nisu dostupni javnosti.

Emisioni parametri: Podaci za sofisticirani pristup dobijaju se merenjima u realnom vremenu, prijavljenim informacijama o performansama i/ili složenim modeliranjem. Potrebne informacije za proračun emisija vazduhoplova sofisticiranim pristupom su:

- Merenja vremena u režimu za različite tipove vazduhoplov-motor pri različitim masama, rutama i meteorološkim uslovima;
- Upotreba reversa za različite tipove vazduhoplov-motor pri različitim meteorološkim uslovima;
- Meteorološki uslovi na aerodromu;
- Učestalost i način testiranja motora;
- Učestalost upotrebe vučnog vozila prilikom manevrisanja vazduhoplova na zemlji;
- Infrastruktura i karakteristike aerodroma (npr. dužina PSS);

Koristeći stvarne podatke dobijene merenjem, EI mogu biti dobijeni korišćenjem programa kao što su Boeing Fuel Flow Method 2 ili Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt Method.

Proračun emisija: Kada se odrede EI, TIM, potrošnja goriva za poznatu flotu, LTO emisije se računaju po istom principu kao i kod naprednog pristupa, ali sa preciznijim podacima.

$$E_{ij} = \sum (TIM_{jk} * 60) * (FF_{jk}/1000) * (EI_{jk}) * (NE_j)$$

gde je:

E_{ij} = ukupna količina emisija zagađivača i (npr. NO_x , CO ili HC), u gramima, koju emituje vazduhoplov j u toku jednog LTO ciklusa;

EI_{jk} = emisioni indeks zagađivača i (npr. NO_x , CO ili HC), u gramima zagađivača po kilogramu goriva (g/kg goriva), u režimu k (npr. poletanje, penjanje, režim malog gasa, sletanje) za svaki motor na vazduhoplovu j pri čemu EI ne mora biti konstantno tokom TIM;

FF_{jk} = potrošnja goriva za režim k (npr. poletanje, penjanje, režim malog gasa, sletanje), u kilogramima po sekundi (kg/s), za svaki motor vazduhoplova j pri čemu FF ne mora biti konstantno tokom TIM;

TIM_{jk} = vreme u režimu k (npr. poletanje, penjanje, režim malog gasa, sletanje), u minutama

za vazduhoplov j;

NE_j = broj motora na vazduhoplovu j;

NAČINI ZA OGRANIČENJE I REDUKCIJU EMISIJA ŠTETNIH GASOVA VAZDUHOPLOVA

Veoma je važno što pre razviti takav dizajn vazduhoplova koji će pre svega biti u skladu održivog razvoja, odnosno što „zeleniji“. Treba imati da umu da je upotrebnost jednog vazduhoplova trideset godina, a da je za razvoj novog dizajna potrebno deset godina. Ciljevi postavljeni za redukciju emisija štetnih gasova vazduhoplova su smanjenje CO_2 emisija za 50% i NO_x emisija za 80% (što se postiže manjom potrošnjom goriva), smanjenje buke za 50% i „zeleni“ životni ciklus vazduhoplova koji podrazumeva – dizajn, proizvodnju, održavanje i reciklažu. Mere koje se preduzimaju mogu se podeliti u tri oblasti: tehnologija i standardi; operativne mere; tržišne mere. Jedan od načina smanjenja emisija štetnih gasova jeste i izrada Priručnika za procenu kvaliteta vazduha u blizini aerodroma i njegovo dalje usavršavanje. Takođe značajan je i razvoj alternativnih goriva.

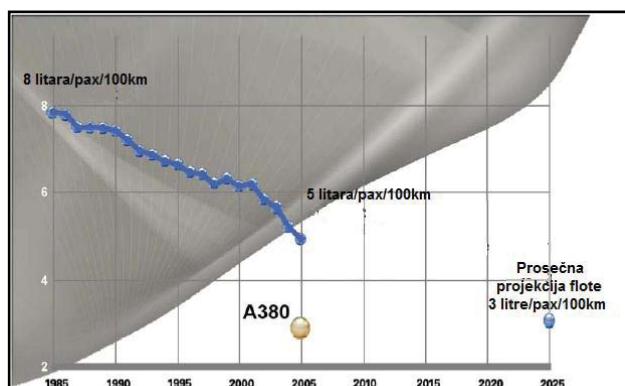
Tehnologija i standardi

Neke od činjenica o potrošnji goriva:

- Prosečno, vazduhoplov potroši oko 0.03kg goriva za svaki prevezeni kilogram na sat. Ova količina je nešto veća za kreće letove i starije vazduhoplove, a niža za duže letove i novije vazduhoplove.
- Smanjenjem mase vazduhoplova, na primer zamenom metalnih delova kompozitima, može se smanjiti potrošnja i za 5%.
- Prosečna potrošnja goriva po minuti leta je 49kg.
- Prosečna potrošnja goriva po pređenoj nautičkoj milji je 11kg.
- Današnji putnički vazduhoplovi su 70% efikasniji nego oni proizvedeni pre 40 godina, a očekuje se i dalje poboljšanje. Vazduhoplov koji danas ima najbolju efikasnost je A380 (Slika 7).

Potrošnja goriva direktno je povezana sa dizajnom motora i konstrukcijom vazduhoplova. Sva rešenja pored toga, što će biti održiva, moraju biti u skladu i sa svim ostalim zahtevima kao što su performanse, eksploatacija, pouzdanost, lako

održavanje, trajnost, troškovi, udobnost, kapacitet uz bezbednost koja ostaje primaran uslov. Svaka nova komponenta u razvoju vazduho-



Slika 7. Istorijski trend potrošnje goriva putničkih vazduhoplova

plova mora postići balans između tehnološke izvodljivosti, ekonomske isplativosti i ekološke održivosti u pogledu smanjenja buke i emisije štetnih gasova i što boljoj iskorišćenosti.

Trenutni ICAO standardi za sertifikaciju emisija štetnih gasova vazduhoplova, koji su definisani u Annex 16 Volume II, prvobitno su bili napravljeni kao rezultat zabrinutosti za kvalitet vazduha u blizini aerodroma. Da bi se dobila sertifikacija potrebno je da pokazane karakteristike emisija motora, HC, CO, NO_x i dima budu manje od količine koju je propisao ICAO. Motor se testira

za četiri karakteristična režima u LTO ciklusu (Slika 8):

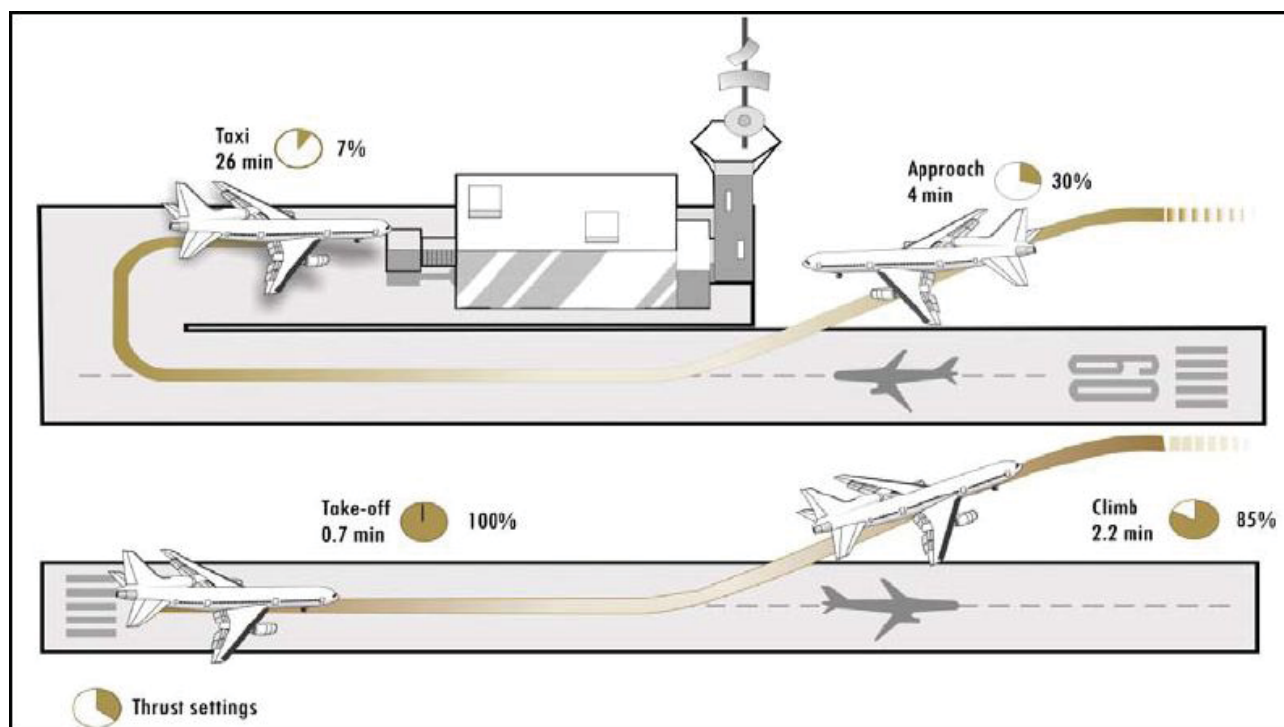
- Poletanje (100% raspoloživog potiska) tokom 0.7 minuta;
- Penjanje (85% raspoloživog potiska) tokom 2.2 minuta;
- Prilaz (30% raspoloživog potiska) tokom 4 minuta;
- Taksiranje (7% raspoloživog potiska) tokom 26 minuta;

Postavljenje standarda u direktnoj je vezi se razvojem tehnoloških inovacija koje utiru put postavljanju novih ciljeva i pooštavanju mera za smanjenje emisija štetnih gasova.

Da bi se mere za NO_x emisije pooštrile potrebno je razmotriti način na koji one nastaju i kako se mogu smanjiti. Dizajn motora je kompromis između mnogih nekada i kontradiktornih zahteva, zbog čega je potrebno odrediti sa ekološkog stanovišta koja je emisija značajnija.

Operativne mere

ICAO podržava razvoj operativnih mera i poboljšanje kontrole letenja (Air Traffic Management – ATM) u cilju smanjenja emisija štetnih gasova. Najvažniji načini smanjenja potrošnje su preko ATM sistema koji bi omogućili upotrebu direktnih ruta i optimalnih visina i brzina leta,



Slika 8. Ilustracija ICAO LTO procedure za sertifikaciju

što bi značajno smanjilo emisiju CO₂. Prema istraživanjima IPCC, ova poboljšanja mogla bi da smanje potrošnju goriva između 8-18%. Uočeni su i nedostaci, odnosno problemi u sadašnjim ATM sistemima – čekanje na odobrenje za sletanje u holdingu, neefikasne rute, neoptimalni profili leta. U ovom istraživanju navedene su još neke mogućnosti za redukciju potrošnje goriva – povećanje faktora punjenja (load factor – Lf) prevoženjem veće količine robe ili većeg broja putnika, smanjivanje mase opreme, koja nije neophodna, optimizacijom brzine vazduhoplova, ograničavanjem upotrebe APU, skraćivanjem taksiranja. Na ovaj način potrošnja bi se smanjila za još 2-6%.

Trenutno najefikasniji način za smanjenje emisije CO₂ je preko smanjenja potrošnje goriva. Prosečno, svake minute leta emituje se 160kg CO₂. Svaki kilogram uštedenog goriva smanjuje emisiju za 3.16kg. Stalna obnova flote i povećanje Lf najprisutniji su načini redukcije potrošnje od strane kompanija. IATA je izdala Guidance Material and Best Practices for Fuel and Environmental Management u kojem se nalaze rešenja i mogućnosti za uštedu u težini, planiranju rezervnog goriva, optimizaciji leta vazduhoplova. Dodatno, u saradnji sa ICAO i provajderima usluga kontrole letenja, IATA radi i na optimizaciji ruta. U toku 2006. godine poboljšano je 350 ruta u Africi, Severnoj i Južnoj Americi, Aziji i Evropi što je rezultiralo uštedom od 6.000.000 tona emisija CO₂.

Provajderi usluga kontrole letenja sve više prepoznaju svoju ulogu u očuvanju životne sredine, tokom poslednjih nekoliko godina uveli su nekoliko mera za smanjenje štetnih emisija – skraćivanje ruta, smanjenje kašnjenja, sletanje konstantnim poniranjem (Continuous Descent Approach – CDA) i uvođenjem RVSM (Reduced Vertical Separation Minimum). RVSM je prvo uveden 1997. godine u severoatlantskom vazдушnom prostoru, zatim u Evropi, Pacifiku, Aziji, koridor Evropa/Južna Amerika, karibski, južno i centralno američke regije, a uskoro će se primenjivati i svuda u svetu. Istraživanjima je procenjeno da je uvođenjem RVSM ostvarena ušteda od oko 80kg goriva po letu. RVSM omogućava efikasniju upotrebu vazdušnog prostora i pruža mogućnost letenja vazduhoplova bliže njihovim optimalnim visinama leta, smanjujući tako potrošnju goriva.

Uvođenjem RVSM u Evropu 2002. godine EU-

ROCONTROL je izračunao da su NO_x emisije smanjene za 0.7-1%, što je oko 3500 tona godišnje manje, SO_x emisije smanjene su za 260 tona godišnje, CO₂ i H₂O za 1.6-2.3% što ukupno predstavlja uštedu kompanijama koje lete u Evropi od 310000 tona goriva godišnje. Istraživanja govore da je na smanjenje uticalo i upotreba visina duž i iznad tropopauze na 8-10 km. Na ovim visinama izračunato je smanjenje od 2.3-4.4% NO_x emisija, potrošnja goriva, CO₂, SO_x, H₂O za 3.5-5%.

Tržišne mere

Do 1998. godine sve mere za smanjenje emisija bile su tehnološke, od tada se uvode tržišne mere (market-based measures – MBMs) kao način mitigacije, ograničenja i redukcije emisija. Ove mere obuhvataju:

1. trgovinu emisijama – sistem trgovine emisijama podrazumeva da je određena krajnja ukupna dozvoljena količina emitovanog CO₂ i time je ustanovljeno tržište koje daje mogućnost učesnicima da kupuju i prodaju svoje količine CO₂ po ceni koju formira tržište. Ukoliko učesnik ima potrebu za većom količinom CO₂ moćiće da od drugih kupi određenu količinu ukoliko ti učesnici stvaraju manje CO₂ emisija nego što imaju dozvolu, pre nego da preduzme neke od skupih mera za smanjenje emisija. Uticaj ovog principa na ekologiju određen je ukupnom dozvoljenom količinom emitovanog CO₂, dok je ekonomski uticaj određen cenom sopstvenih višak količina.
2. porez za okolinu – porezi za okolinu odnose se na poreze i naknade koji imaju za cilj ekonomski podstrek za smanjenje emisija. U osnovi ove naknade podižu troškove prevoznicima, koji to prenose na putnike. To može izazvati smanjenu potražnju pa na taj način i količinu emisija. S druge strane, mogu dovesti do prihvatanja mera za ublažavanje do mera kada je to jeftinije od plaćanja poreza. U ovom slučaju ekonomski uticaj određen je visinom poreza, dok je ekološki uticaj određen u kolikoj meri će porez uticati na prihvatanje mera za smanjenje emisija. Naknade koje su obuhvaćene odnose se na porez za gorivo, porez za emisije na ruti.
3. dobrovoljne mere – ove mere predstavljaju jednostranu akciju industrije ili dogovora između industrije i vlade za smanjenje emisija.

ja. Mogu se odnositi na dobrovoljnu trgovinu emisijama, kompenzaciju ugljenika, operativne promene, tehnološka ulaganja.

Alternativna goriva

Alternativna goriva u vazduhoplovstvu ne predstavljaju novi koncept. Briga za okolinu nije glavni pokretač interesovanja za alternativna goriva, već stalno rastuća cena kerozina do te mere da stvara gubitke, odnosno potire zaradu na drugim mestima. Sigurnost i stabilnost snabdevanja, stalni porast tražnje, dostupnost, nezavisnost od geopolitičkih događanja, ekstremni vremenski uslovi neki su od neekoloških razloga interesovanja za alternativna goriva. Goriva koja se trenutno koriste u vazduhoplovstvu su smeša različitih ugljovodonika, uglavnom sadrže 60% parafina, 20% naftena, 20% aromatičnih HC i 500 milionitih delova sumpora. Nafteni i aromatični HC imaju veći udeo ugljenika u odnosu na vodonik za razliku od parafina. To im daje veću zapreminsku efikasnost, ali to uključuje i elemente koji stvaraju emisije čestica – PM u izduvniku. Alternativna goriva za vazduhoplove obuhvataju drop-in goriva i non drop-in goriva.

PRIMER IZRAČUNAVANJA EMISIJE ŠTETNIH GASOVA U OKOLINI AERODROMA „NIKOLA TESLA“ BEOGRAD – JEDNOSTAVAN PRISTUP (Simple Approach)

Emisija štetnih gasova motora (Main Engine Emissions)

Prema podacima o realizovanom redovnom i čarter saobraćaju na posmatranom aerodromu za 2007. godinu dobijeni su sledeći rezultati:

- ukupan broj operacija u redovnom saobraćaju – 35073;
- ukupan broj operacija čarter letova – 1895;
- najveći deo saobraćaja realizovan je vazduhoplovom tipa Boeing 737-300 – 33.85%
- ukupan broj B733 operacija u redovnom saobraćaju = $35073 \times 33.85\% = 11872$;
- broj LTO ciklusa B733 redovnog saobraćaja = $11872/2 = 5936 = a1$;
- ukupan broj B733 operacija čarter letova = $1895 \times 33.85\% = 641$;
- broj LTO ciklusa B733 čarter letova = $320 = a2$;

- ukupan broj LTO ciklusa = $a1 + a2 = a = 6256$;

Proračun emisija

Pretpostavke:

- SO₂ – gorivo sadrži 0.05% sumpora S;
- CO₂ – svaki vazduhoplov izbacuje 3.16kg CO₂ za svaki kilogram utrošenog goriva, što se zaokruži na približno 10;
- Tip motora za B733 je CFM56-3B-1 (1CM004) i EI za gasove;

$$Y = 1 \text{ (B733)}$$

$$X = 5 \text{ (NO}_x, \text{ HC, CO, SO}_2, \text{ CO}_2)$$

$$\text{EINO}_x = 7.19 \text{ kg/LTO} \rightarrow \text{NO}_x = a \times \text{EINO}_x = 6256 \text{ LTO} \times 7.19 \text{ kg/LTO} = 44980.64 \text{ kg}$$

$$\text{EIHC} = 0.84 \text{ kg/LTO} \rightarrow \text{HC} = a \times \text{EIHC} = 6256 \text{ LTO} \times 0.84 \text{ kg/LTO} = 5255.04 \text{ kg}$$

$$\text{EICO} = 13.03 \text{ kg/LTO} \rightarrow \text{CO} = a \times \text{EICO} = 6256 \text{ LTO} \times 13.03 \text{ kg/LTO} = 81515.68 \text{ kg}$$

$$\text{EISO}_2 = 0.78 \text{ kg/LTO} \rightarrow \text{SO}_2 = a \times \text{EISO}_2 = 6256 \text{ LTO} \times 0.78 \text{ kg/LTO} = 4879.68 \text{ kg}$$

$$\text{EICO}_2 = 2480 \text{ kg/LTO} \rightarrow \text{CO}_2 = a \times \text{EICO}_2 = 6256 \text{ LTO} \times 2480 \text{ kg/LTO} = 15514880 \text{ kg}$$

Potrošnja goriva

$$Y = 1 \text{ B733}$$

$$X = 1 \text{ (FC)}$$

$$\text{FC} = 780 \text{ kg/LTO} \rightarrow$$

$$\text{FC} = a \times \text{FC} = 6256 \text{ LTO} \times 780 \text{ kg/LTO} = 4879680 \text{ kg}$$

ZAKLJUČAK

Iako je problem smanjenja buke primarni zadatak aerodroma, LAQ je od rastućeg značaja, uprkos činjenici da emisije vazduhoplova čine relativno mali deo ukupnih emisija. Zbog brzog rasta potražnje u vazdušnom saobraćaju, emisije vazduhoplova se srazmerno povećavaju i pored emisionih redukcija mnogih drugih izvora na aerodromu. Daljim povećanjem obima vazdušnog saobraćaja, emisije vazduhoplova (pored buke i otpadnih voda) mogu postati najveće ograničenje porasta avio-transporta. Na globalnom nivou, uticaj koji avijacija vrši na klimu se smatra najnepovoljnijim uticajem vazdušnog saobraćaja na okolinu.

Potruga za efikasnim rešenjima u zaštiti ekosistema zavisi od sveobuhvatne i bogate baze

znanja, nadograđene savremenom tehnologijom i alatima za modeliranje u svim relevantnim oblastima. Postoji zahtev za kontinualnim investiranjem finansijskih i ostalih resursa u cilju obavljanja neophodnih istraživanja i razvoja tehnologije. Ova potraga se bazira na udruživanju resursa, kooperaciji i integrisanom i balansiranom pristupu na globalnom nivou. Reč je o stalnom dinamičkom procesu koji postavlja mnogo izazova pred vazduhoplovnu industriju.

Kako bi se ovaj proces uspešno odvijao, mora se insistirati na pažnji, otvorenosti, fleksibilnosti i rešenosti, kako bi se odgovarajuće mere sprovodile pravovremeno i sa optimalnim efektom. Na ovaj način, moguće je obezbediti efikasnu analizu kao podršku racionalnom donošenju odluka, koje su koncentrisane na zaštitu čovekove okoline, kako trenutno, tako i u budućnosti.

U ovom radu prikazan je jedan od mogućih pristupa u analizi emisije štetnih gasova vazduhoplova na primeru aerodroma „Nikola Tesla“ Beograd. Prikazana analiza predstavlja početni korak u snimanju stanja koja može poslužiti prilikom budućih donošenja odluka vezanih za kontrolu emisije štetnih gasova vazduhoplova u pogledu sistema vazdušnog saobraćaja u Republici Srbiji.

Prikazani rad predstavlja deo rezultata istraživanja ostvarenih u projektu „Program za smanjenje emisije štetnih gasova i buke u sistemu vazdušnog saobraćaja Republike Srbije“, u okviru „Programa istraživanja u oblasti tehnološkog razvoja za period 2008-2010“, oblast - saobraćaj, pri Ministarstvu nauke, evidencioni broj: 15007.

LITERATURA

- 1) ICAO (2007) Airport Air Quality Guidance Manual (Doc 9889), Canada, Montreal: ICAO
- 2) ICAO (2008) Engine Exhaust Emissions Data Bank (Doc 9646), Canada, Montreal: ICAO
- 3) ICAO (2007) Environmental Report, Canada, Montreal: ICAO
- 4) Milosavljević, Đ. (2003). Unapređenje sistema upravljanja zaštitom životne sredine po standardima ISO 14000, Istraživanja i projektovanja za privredu, 1, 41-48
- 5) Mitrović, Č., Golubović, Z., Šešlija, D. (2005). Filtracija fluida i separacija štetnih materija kod vazduhoplova, Istraživanja i projektovanja za privredu, 10, 7-20
- 6) Mitrović, Č., Golubović, Z., Šešlija, D. (2006). Implementacija, značaj i efekti filtracije u privredi, Istraživanja i projektovanja za privredu, 12, 13-20
- 7) S. Gvozdenović, S., Miroslavljević, P., Čokorilo, O. (2005) Vazduhoplovna prevozna sredstva, Beograd: Saobraćajni fakultet
- 8) http://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_effect
- 9) http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone_layer

IMPACT OF AIRCRAFT EMISSIONS ON THE ENVIRONMENT

Air transport is one of the major generators of greenhouse gases that have a negative impact on the environment. Therefore, numerous solutions and recommendations related to the reduction of emissions of aircraft have been developed. Given the continuous growth of global air transport, it is necessary to establish a methodology that can be effectively applied in the monitoring system of air traffic, in order to decrease emissions. This paper defines the impact of aircraft emissions to global pollution and local air quality around airports, by analyzing the existing methods, especially with regard to ICAO recommendations related to aircraft emissions and / or its systems: power unit, APU, etc. The conclusion of this paper shows the options and recommendations for the application of methods for defining the level of pollution in the air transport system of the Republic of Serbia.

Key Words: aircraft, the environment, gas emissions;

*Rad poslat na recenziju: 28.06.2010.
Rad spreman za objavu: 23.08.2010.*