

Prof. dr. HUSEIN DŽANIĆ
Dr. BRANKO GELO
Doc. dr. JASNA GOLUBIĆ
Fakultet prometnih znanosti
Zagreb

Promet i čovjekova okolina
Pregled
UDK: 629.7+662+515.5
Primljeno: 24.04.1989.
Prihvaćeno: 27.06.1989.

PROCJENA KOLIČINE I ŠIRENJA ISPUŠNIH PLINOVA ZRAKOPLOVA

SAŽETAK

U radu su analizirani raspoloživi podaci o zračnoj floti Jugoslavije, zatim o prometu i preletu zrakoplova te o potrošnji mlaznoga goriva kao osnovnog izvora zagađenja. Prema navedenim podacima procijenjen je udio zračnog prometa u regionalnom i globalnom zagađivanju atmosfere nad Aerodromom Zagreb.

Količine ispušnih plinova su velike. Tako je u 1987. godini na Aerodromu Zagreb, vezano uz zrakoplovni promet, emitirano u atmosferu 418 000 kg HC, 483 000 kg CO i 757 000 kg NO_x, (regionalno u zoni aerodroma), te od preleta $122 \cdot 10^5$ kg HC, $9.97 \cdot 10^5$ kg CO i $9.9 \cdot 10^5$ kg NO_x kao globalno zagađivanje atmosfere.

Procjenjuje se da zagađivanje atmosfere zbog zračnog prometa u zadnjih četiri godine proporcionalno raste s prometom zrakoplova (10.85 %), preletom zrakoplova (7.5 %) i potrošnjom goriva (12.7 %).

1. UVOD

Problem onečišćenja zraka ispušnim plinovima raznih motora (ugljikovodici, ugljik (II) - oksid, dušikovi oksidi i drugi spojevi) prisutan je u svim oblicima prometa. Pri raznim vremenskim stanjima rađena su u svijetu simultana mjerenja brojnih meteoroloških parametara i koncentracije štetnih plinova izazvanih prometom. Pritom procjene onečišćenja zraka te modeliranje pojedinim numeričkim modelima pružaju nove spoznaje o širenju zagađenja i o smanjenju zagađenja.

O zrakoplovima kao zagađivačima atmosfere najmanje se govori, jer oni lete tamo negdje "daleko"; veće se značenje daje problemu buke na aerodromima. Međutim, udio zrakoplova u zagađivanju atmosfere je velik, no o tome se relativno malo zna.

U 1986. godini u svijetu je registrirano više od 170 000 zrakoplova. U SAD, zemlji s jako razvijenim zračnim prometom, registrirano je oko 3000 dugolinijskih visokotonažnih zrakoplova, 5000 srednje tonažnih i oko 170 000 jednomotornih zrakoplova pogonjenih

aviobenzinom [Enenkov i Gorbatko, 1984]. U putničkom prometu Jugoslavije nalazi se 49 zrakoplova duge plovidbe [Devide, 1988; Enenkov i Gorbatko, 1984]. Na jugoslavenskim aerodromima potrošeno je tokom 1986. godine 400 000 t zrakoplovnih goriva, što je 7.5 % ukupno potrošenih goriva u prometnim organizacijama. Zračnim putovima u području Zagreba preleti godišnje oko 220 000 zrakoplova.

Ovisno o tipu zrakoplova i motora, opterećenju motora pri polijetanju, penjanju, krstarenju, poniranju i drugim režimima rada motora, zrak biva zagađivan raznim polutantima u raznim koncentracijama. Izvor emisije vrlo brzo mijenja položaj u prostoru što značajno utječe na njene primarne proizvode i njihovo daljnje fizikalno i kemijsko transformiranje. Zagađivanje zraka primarnim polutantima iz zrakoplova ovisi o režimu rada pogonske grupe zrakoplova, kemijskog sastava goriva i visine leta, dok sekundarni polutanti zavise od kemijskog sastava goriva, sastava zraka i visine leta izvora emisije [Gabriel, 1988] pa i drugih čimbenika. Pritom je važno istaknuti da vrijeme zadržavanja pojedinih primjesa u zraku nije jednako (od nekoliko sati ili dana do nekoliko mjeseci) kao ni njihova koncentracija. Pojedine primjese se vremenom razgrađuju, druge se izlučuju s oborinama na površinu zemlje te je zagađuju, a mnoge u kemijskim procesima vrlo aktivno napadaju i razgrađuju pojedine važne standardne komponente zraka (npr. ozon).

2. METEOROLOŠKI PARAMETRI PRI ŠIRENJU PRIMJESA

Zrak kao smjesa plinova unutar nekog volumena (do visine oko 20 km) sadrži stalne komponente: 78 % dušika, 21 % kisika i 1 % ostalih plinova (argon, ugljik(IV) - oksid, ozon i drugi). Osim stalnih komponenata u zraku su prisutne promjenljive komponente od kojih je najvažnija voda u sva tri agregatna stanja. U raznim slojevima atmosfere, ne, dima, soli, bakterije, pelud i slično, tj. aerosol. Aerosol ulazi u sastav zraka iz prirodnih izvora, isparavanjem mora, djelovanjem

vulkana itd. ili iz izvora koji su posljedica ljudske djelatnosti.

Meteorološki elementi i pojave izravno utječu na širenje svih vrsta primjesa u atmosferi. Kada bi ih se potpuno moglo isključiti, širenje primjesa u nekom prostoru odvijalo bi se procesima difuzije. Tada bi koncentracije zagađivanja bile velike u neposrednoj blizini izvora emisije, dok bi s povećanjem udaljenosti od izvora koncentracija naglo opadala. Međutim, uz difuziju postoje i procesi advekcije (horizontalnog transporta), konvekcije (vertikalnog transporta zbog termičkih razlika) i turbulencije (transporta zbog dinamičkih efekata). To se može predočiti pojedinim izrazima:

- jednadžba gibanja:

$$\frac{dV}{dt} + f \times V + \frac{1}{\rho} \nabla p - \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial V_h}{\partial z} \right) - K_{mh} \nabla^2 V \quad (1)$$

gdje je: V - vjetar, f - Coriolsov parameter, k - jedinični vektor, ρ - gustoća zraka, p - tlak zraka, z - visina, μ - dinamički koeficijent viskoznosti, V - horizontalni vjetar, a K je koeficijent horizontalne difuzije momenta;

- sačuvanje vode u sva tri agregatna stanja:

$$\frac{dq_n}{dt} = \frac{S_n}{\rho} \quad (n = 1, 2, 3) \quad (2)$$

- sačuvanje plina i primjesa:

$$\frac{d\eta_m}{dt} = S_m \quad (m = 1, 2, \dots, M) \quad (3)$$

gdje je: q_n - specifična vlaga, η_m - plinovi i primjese, a S_n i S_m su izvori i ponori vodnosti, plinova i ostalih kemijskih supstancija. U

izrazu (3) za slučaj $S_m = 0$ postoje advektivni procesi tj. nema ni izvora ni ponora primjesa, dok $S_m \neq 0$ govori da u atmosferi postoje izvori emisije zagađenja ili u povoljnom slučaju, da dolazi do pročišćavanja zraka. Tome treba dodati procese termodinamike i sačuvanja mase [Gelo, 1988, a, b].

Podaci dobiveni mjerenjima u atmosferi ukazuju na to da ona ima slojevitú strukturu čije su karakteristike promjenljive u prostoru i vremenu. Međunarodna standardna atmosfera definirana kao idealizirani model atmosfere služi za razna računanja u meteorološkoj praksi (tabela 1).

Tabela 1. ICAO - standardna atmosfera

Tlak zraka (hPa)	Visina (m)	Temperatura zraka (°C)
1013.25	0	15.0
1000	111	14.3
850	1457	5.5
700	3012	-4.6
500	5574	-21.2
300	9164	-44.6
226	11000	-56.5
200	11784	-56.5
100	16180	-56.5

3. PROCJENE KOLIČINE ISPUŠNIH PLINOVA ZRAKOPLOVA

3.1. Flota i promet zrakoplova u Jugoslaviji

Za procjenu količine ispušnih plinova zrakoplova u prometu potrebno je poznavanje zrakoplovne flote, prodane količine goriva po vrstama te broj zrakoplova koji krstare nebom Jugoslavije.

Tabela 2. Flota zrakoplovnih prijevoznika u Jugoslaviji [Ann., 1988 a; Ann., DC-9].

Tip / serija	Broj zrakoplova			Masa zrakoplova (10 ³ kg)			Kapacitet spremnika goriva (l)
	JAT	AA	AG	Bez goriva	Pri spuštanju	Pri uzletanju	
DC-10-30	5	-	-	166.9	186.4	256.3	138 750
B-727-200	9	-	-	62.6	70.0	83.8	3 1000
B-737/ 300	8	-	5	48.3	51.7	61.2	20125
DC-9/ 32,33,51	9	8	-	39.5	44.9	49.0	
ATR-42/ 300	3	-	-	15.2	16.4	16.7	
Airbus A-310	-	5	-	72.2	118.5	125.0	55 100
Dash-7	-	2	-				
Cessna 402B	3	-	-			28.6	
-	37	15	5	-	-	-	-

Na području Jugoslavije djeluju tri glavna zrakoplovna prijevoznika: Jugoslavenski aerotransport - JAT, Adria Airways - AA i Aviogeneks - AG. Stanje flote pri kraju 1988. godine prikazano je u tabeli 2. Osim toga, znatan broj zrakoplova raznih tonaža posjeduju poljoprivredna avijacija, zrakoplovni savezi, razne privredne organizacije, izvršna vijeća, organi milicije i vojske, koji u ovom slučaju nisu razmatrani, a sigurno znatno doprinose zagađenju okoline.

Promet zrakoplova u 1987. godini na Aerodromu Zagreb bio je: JAT - 10 140, Adria Airways - 1559, ostali domaći prijevoznici - 1112, privredna i poslovna avijacija - 3492, dok su inozemni prijevoznici ostvarili 16 303 letova, što ukupno iznosi 32 606 letova.

Kontrola letenja na Aerodromu Zagreb u 1987. godini zabilježila je više od 220 000 preleta što također utječe na zagađivanje atmosfere.

Ukupan promet zrakoplova na aerodromima Jugoslavije u 1987. godini obuhvaćao je 174 176 letova [Ann., 1988 c]. U tom prometu Aerodrom Zagreb posluhuje 18.7 %, a aerodromi na području Hrvatske 45.0 % jugoslavenskog prometa zrakoplova.

3.2. Procjene potrošnje avionskoga goriva i zraka u zrakoplovnom prometu

Potrošnja avionskoga goriva ne ovisi samo o prometu zrakoplova, ona je ovisna i o tipovima zrakoplova, vremenskim prilikama, destinacijama zrakoplova, ukupnoj težini putnika, tereta i robe koja se prevozi, stanju na pisti, visini leta, pilotu, kontroli letenja, te o još mnogim drugim nepredvidivim činiocima.

U suvremenom zrakoplovnom prometu potrošnja avionskoga benzina je manja od 5 % te zanemarivo sudjeluje u zagađivanju atmosfere. Međutim, mlazno gorivo - GM-1, poznato još pod oznakama TS-1, T-1, JP-1 i JP-5, te ATK danas je najviše korišteno za pogon mlaznih motora zrakoplova [Džanić, 1977].

Mlazno gorivo GM-1 po kemijskom je sastavu smjesa parafina (38 - 67 %), naftena (14 - 45 %) i aromata (17 - 18 %), te u nekim slučajevima aditiva (V_2O_5). Elementarni sastav mu je približno 86 % ugljika (C) i 14 % vodika (H_2). Gorenjem daje 42 230 do 43 050 kJ/kg. Teoretska potrošnja zraka za potpuno izgaranje 1 kg mlaznoga goriva može se izračunati prema izrazu:

$$L_o = \frac{1}{0.231} \left(\frac{8}{3} C + 8 H_2 \right) = 14.775 \text{ kg zraka} \Rightarrow 11.21 \text{ m}^3 \text{ zraka} \quad (4)$$

Različite količine goriva troše se u pojedinim fazama letenja zrakoplova, pri polijetanju i penjanju, pri krstarenju i pri spuštanju. Procijenjena potrošnja goriva u zrakoplovima u prvim fazama letenja može se približno utvrditi ako se zna masa zrakoplova, brzina leta odnosno vrijeme penjanja zrakoplova na određenu visinu i temperatura okolnog zraka (tabela 3).

Tabela 3. Potrošnja goriva DC-10 pri polijetanju i penjanju na visinu krstarenja (tri motora) [Ann.: DC-10-30]

Masa zrakoplova (10^3 kg)	Vrijeme penjanja (min)	Prosječna temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Visina leta (km)	Potrošnja goriva (kg)
120	10	- 10	10	8 976
120	10.4	+ 10	10	9 543
120	12.1	+ 20	10	10 305
200	16	- 10	10	14 733
200	18.2	+ 10	10	15 885
200	22.8	+ 20	10	18 132
270	28.3	- 10	9.2	23 220
270	29.8	+ 10	9.2	25 200

utvrditi ako se zna masa zrakoplova, brzina leta odnosno vrijeme penjanja zrakoplova na određenu visinu i temperatura okolnog zraka (tabela 3).

Iz tabele 4. vidljivo je da potrošnja goriva pri krstarenju ovisi o masi zrakoplova, temperaturi okolnog zraka i visini leta. Na većim visinama, zbog rjeđeg zraka i manjeg otpora zraka, manja je potrošnja goriva. I više prosječne temperature u zoni krstarenja iziskuju veću potrošnju goriva.

Potrošnja goriva u fazama spuštanja i slijetanja s visine krstarenja je manja nego u

Tabela 4. Potrošnja goriva u DC-10 pri krstarenju [Ann.: DC-10-30]

Masa zrakoplova (10^3 kg)	Okolna temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Visina leta (m)	Potrošnja goriva na tri motora (kg/h)
260	- 44.5	7500	$3555 \times 3 = 10 665$
200	- 44.5	7500	$2814 \times 3 = 8 422$
160	- 44.5	7500	$2263 \times 3 = 6 789$
260	- 34.5	7500	$3638 \times 3 = 10 914$
260	- 14.5	7500	$3800 \times 3 = 11 400$
160	- 56.5	12500	$2189 \times 3 = 6 567$
260	- 16.8	11000	$3822 \times 3 = 11 466$
200	- 16.8	11000	$3050 \times 3 = 9 150$

Tabela 5. Potrošnja goriva u pojedinim tipovima zrakoplova [Ann., 1986 a; Ann., 1986 b; Ann., Cesana]

Tip zrakoplova	Potisak (kN)	Broj putnika	Potrošnja goriva	
			(l/h)	po sjedalu (l/h)
Airbus A-310	2 x 222.4	199	5 300	26.63
Airbus A-300	2 x 267.68	207-258	6 850	33.09-26.55
B-737	3 x 68.95	98-110	2750-2900	28.06-26.36
B-727	3 x 68.95	139	3 100	22.30
B-747	4 x 233.52	235-359	15 500	65.96-43.1 7
DC-10	3 x 233.52	229-234	11 400	49.78-48.72
DC-9	2 x 63.21	110	7 352	66.84
Cessna 550 II	2 x 11.21	8-12	836-2100	104.50-175
Prosjeci		156	6 724	37

prethodnim fazama i ovisi o brzini i načinu spuštanja. Tako je kod DC-10 za spuštanje povećanom brzinom s visine od 10 000 m potrebno 214 min pri čemu se potroši 1455 kg/h GM-1 po motoru. Međutim, za spuštanje s iste visine iz veće udaljenosti zrakoplov će potrošiti 1935 kg/h goriva po motoru te će za spuštanje trebati 26 min [Ann., DC-10-30].

Proizvođači zrakoplova i motora žele postići što veći maksimalni potisak motora koji je u funkciji količine i brzine ispušnih plinova, odnosno što veći omjer snage motora po jedinici potrošnje goriva. Ekonomičnost zrakoplovnog prometa može se predložiti i po potrošnji goriva po jednom putničkom sjedalu (tabela 5).

Tabela 6. Potrošnja mlaznoga goriva na aerodromima Hrvatske po godinama (10^3 kg) [Ann., 1988 b]

Aerodrom	1983	1984	1985	1986	1987
Dubrovnik	20091	26934	32493	32642	37306
Osijek	1714	2017	1311	819	541
Pula	11920	14 490	19794	18679	19999
Rijeka	1413	1465	2552	2484	2556
Split	15108	18003	20151	20161	23227
Zadar	1713	1826	2855	3106	3137
Zagreb	42419	48789	58301	57547	63424
Ukupno	94378	113524	137457	135438	150190

Potrošnja mlaznoga goriva na aerodromima u Hrvatskoj u zadnjim godinama je u stalnom porastu, što je vidljivo iz tabele 6. Uvažavajući ostale podatke, može se pretpostaviti da je zrakoplovstvo u Jugoslaviji u 1988. godini potrošilo oko $45 \cdot 10^8$ kg mlaznog goriva, te uz to oko $5.04 \cdot 10^9$ m³ zraka.

3.3. Procjena emisije ispušnih plinova u zrakoplovnom prometu

U toku krstarenja zrakoplovi globalno zagađuju zrak u gornjim slojevima troposfere, na razini tropopauze te u donjim slojevima stratosfere, na što prosječno utroše oko 70 % ukrcanoga goriva. U Hrvatskoj su tokom 1987. godine zrakoplovi u krstarenju potrošili oko $315 \cdot 10^6$ kg mlaznoga goriva, tj. zrakoplovi prosječno troše goriva 5380 kg/h.

Pri rulanju, polijetanju, penjanju, spuštanju i slijetanju zrakoplovi zagađuju zrak regionalno u području aerodroma, na što se potroši prosječno 30 % ukrcanoga goriva. U tim fazama leta na aerodromima u Hrvatskoj se potroši $45 \cdot 10^6$ kg goriva, odnosno u Jugoslaviji $135 \cdot 10^6$ kg.

Pri raznim fazama leta zrakoplova emisija raznih komponenata ispušnih plinova se mijenja, što je vidljivo u tabeli 7.

Zrakoplov na zemlji, pri rulanju i praznom hodu, ima visoku emisiju CO i HC te nisku emisiju NO_x. Međutim, kada je zrakoplov u polijetanju emisija dušikovih oksida se povećava čak za 15 000 %, da bi to povećanje pri krstarenju iznosilo oko 10 000 % (tabela 7).

U fazi penjanja u zonu krstarenja te spuštanja iz te zone, što traje prosječno 29 min, zrakoplovi potroše prosječno 2600 kg mlaznoga goriva. Iz toga slijedi da se prihvatom i otpremom jednog zrakoplova regionalna okolina aerodroma zagađi u prosjeku s 14.8 kg CO, 12.8 kg HC i 23.2 kg NO_x.

Uvažavajući ukupan promet domaćih i inozemnih zrakoplova u 1987. godini proizlazi da je atmosfera Zagreba, s obzirom na faze penjanja i spuštanja iz zone krstarenja, zagađena s 483 000 kg CO, 418 000 kg HC i 757 000 kg NO_x. U zoni krstarenja nebo nad Zagrebom još je godišnje globalno opterećeno s 220 000 preleta, kojom prilikom se po-

Tabela 7. Štetne tvari u ispušnim plinovima zrakoplovnog motora u raznim fazama rada [Ann., 1987]

Režim rada motora	Faktor opterećenja motora	Prosječno trajanje faze (min)	Koncentracija komponenta ispušnog plina (kg/h), [kg/faza]					
			CO		HC		NO _x	
Rulanje i prazan hod	0.007	15	46.72	[11.7]	38.1	[9.52]	0.45	[0.11]
Polijetanje	1.00	0.7	4.54	[0.05]	5.44	[0.06]	67.1	[0.81]
Penjanje	0.85	2.2	4.54	[1.68]	5.89	[2.18]	42.64	[15.7]
Spuštanje	0.30	4.0	13.15	[0.88]	5.44	[0.36]	9.07	[0.61]
Slijetanje	0.07	7.0	4.54	[0.53]	5.89	[0.70]	42.6	[5.12]
Σ		29		[14.82]		[12.82]		[23.22]
Krstarenje			4.54		5.60		45.2	

troši 118 10 kg mlaznog goriva. Tom prilikom emitirano je u 1987. godini $9.97 \cdot 10^5$ kg CO, $1.22 \cdot 10^6$ kg HC i $9.9 \cdot 10^6$ kg NO_x. Pritom je kemijska reaktivnost u zonama krstarenja na dušične okside posebno izražena i na štetu ozona, prema jednadžbi:



S obzirom na opterećenje motora, indeks emisije CO, HC, NO_x i čađe znatno se mijenja. Čađa odnosno "dim" također značajno utječe na fiziku i kemiju zraka u zonama krstarenja gradeći klastere [Kasman, 1986] i aerosol [Matijević, 1986]. Povećanjem opterećenja zrakoplova stupanj dimnosti se povećava, dok se porastom temperature u komorama mlaznog motora dimnost smanjuje.

Broj preleta zrakoplova preko Zagreba i Jugoslavije u zadnjih se četiri godine povećava godišnje za 7.5 %, broj prometa zrakoplova za 110 %, potrošnje mlaznoga goriva na Aerodromu Zagreb za 10.8 %, a u Hrvatskoj za 12.7 %. Procjenjuje se da zagađivanje zraka zračnim prometom raste, s povećanjem prometa zrakoplova, povećanjem preleta i potrošnje goriva.

4. ŠIRENJE ISPUŠNIH PLINOVA

Ispušni plinovi zrakoplovnih motora, koji su dospjeli u atmosferu izgaranjem goriva, osim što su za izgaranje utrošili velike količine kisika i time narušili ekološku ravnotežu, dovode do kemijskih reakcija razgrađivanja drugih stalnih komponenta zraka te još više potenciraju narušavanje ekološke ravnoteže. Toksičnost proizvoda izgaranja vodi dalje do izravnog ugrožavanja egzistencije živih organizama.

Plinovi se u atmosferi šire uglavnom

difuzijom, advekcijom, konvekcijom i turbulencijom. Koji će proces dominirati, prvenstveno zavisi od meteoroloških činilaca. Vremenske situacije sa zanemarivo slabim strujanjima u uvjetima normalno stratificirane atmosfere pogodovat će procesima difuzije. Tada će širenje plinova - aerosola biti općenito najslabije, te će najveće koncentracije biti u blizini izvora emisije. Nasuprot tome, izražena horizontalna strujanja, naročito mlazne struje, dominantno će dati prednost procesima advekcije. Tada će koncentracija aerosola naglo opadati udalžavanjem od izvora emisije, te će se aerosol protezati niza zračnu struju. Uvažavajući brzine mlaznih struja, transport aerosola je moguć na udaljenosti više stotina kilometara. Ako zrakoplov leti ispod razine tropopauze, ona će djelovati kao prepreka širenju aerosola u više slojeve atmosfere. Slično vrijedi i za pojedine slojeve inverzije ili izotermije.

U nestabilnoj atmosferi pri izrazitoj konvekciji transport aerosola po vertikalnoj koordinati je velik. Jako razvijeni konvektivni oblaci u našem podneblju mogu probijati razine tropopauze za nekoliko kilometara [Gelo, 1978], što znači da se tim putem aerosol može vrlo lako pojaviti u visinama srednje stratosfere (20 do 25 km), koja je normalno najbogatija ozonom. Tada djelovanje aerosola na ragrađivanje ozona može poprimiti znatne razmjere. S druge strane silazna strujanja uz sedimentaciju i izlučivanje aerosola u oborinama dovode do taloženja aerosola na površini zemlje.

Turbulencija u atmosferi, koja je stalno prisutna u većem ili manjem opsegu, pogoduje prostiranju aerosola u ona područja koja bi inače bila zaštićena od neposrednoga kontakta s onečišćenjem.

Iz navedenog proizlazi da poznavanje

meteoroloških elemenata pomaže upoznavanju procesa prostiranja zagađenja na mnogima područjima. Pritom ovi elementi pomažu poznavanju trajektorija zagađenja i pripadajućih koncentracija.

5. ZAKLJUČCI

Analiza podataka pokazuje da je u 1988. godini zračna flota zrakoplovnih prevoznika Jugoslavije raspolagala s 57 zrakoplova. Promet zrakoplova na aerodromima Jugoslavije bio je 174 176, koji godišnje raste za 110 %. Samo nad Aerodromom Zagreb bilo je godišnje 220 000 preleta uz godišnji porast od 7.5 %, te je tom prilikom potrošeno $118 \cdot 10^9$ kg mlaznog goriva. Globalno zagađivanje atmosfere u širem području tropopauze nad Aerodrom Zagreb u 1987. godini je iznosilo $9.97 \cdot 10^5$ kg CO, $122 \cdot 10^6$ kg HC i $9.9 \cdot 10^6$ kg NO_x.

Potrošnja mlaznog goriva u Jugoslaviji ($45 \cdot 10^8$ kg) i Hrvatskoj ($15 \cdot 10^8$ kg) godišnje raste za 12.7 %. Zrakoplovni promet nad Aerodromom Zagreb u 1987. godini je regionalno zagađio atmosferu s 483 000 kg CO, 418 000 kg HC i 757 000 kg NO_x.

Kada je zrakoplov u letu njegovi motori emitiraju, u odnosu na rulanje i prazan hod, za dva reda veličine više dušikovih oksida. Opasnost od "kiselih oborina" raste, a koncentracija ozona se u zonama krstarenja smanjuje.

Procjenjuje se, da zagađivanje atmosfere od zračnog prometa u zadnjih četiri godine proporcionalno raste s prometom zrakoplova (10.85 %), preletom zrakoplova (7.5 %) i potrošnjom goriva (12.7 %).

SUMMARY

ASSESSMENT OF CONCENTRATION AND DISPERSION OF AIRCRAFT EXHAUST EMISSIONS

This paper deals with the analysis of available data on Yugoslav aircraft fleet, aircraft movements and flights over the territory in conjunction with the consumption of jet fuels as the primary source of air pollution. The available data serve the authors to assess the share of air transport in overall regional and global aspect of pollution of the atmosphere over the airport of Zagreb.

Respective concentrations of aircraft exhaust gases are rather great. In the year 1987 air transport activities at Zagreb Airport accounted for 418 000 kg HC, 483 000 kg CO and 757 000 kg NO_x sent in to the atmosphere in the airport area as viewed re-

gionally and $1.22 \cdot 10^6$ kg HC, $9.97 \cdot 10^5$ kg CO and $9.9 \cdot 10^6$ kg NO_x originating from the flights over the territory viewed as the values of global pollution of the atmosphere.

It is estimated that air pollution due to air transport activities has been increased proportionally to aircraft movements (10.85 %), flights over the territory (7.5 %) and fuel consumption (12.7 %).

6. LITERATURA

- [1] Ann.: The Fleet. Technical data, Lufthansa, 1986 a).
- [2] Ann.: The Fleet. Scanorama, Scandinavian Airways, April 1986 b).
- [3] Ann.: SGJ/ 87. 121-124, 302, 1987.
- [4] Ann.: Priča o Jugoslavenskom aerotransportu. JAT, 15-90, 1988 a).
- [5] Ann.: Izvještaj INA-Trgovina Avioservis. 1988 b).
- [6] Ann.: Statistički pregled prometa na Aerodromu Zagreb 1983-1987. Aerodrom Zagreb, 3-56, 1988 c).
- [7] Ann.: Manuel DC-9. Mc Donald Douglas Aircraft Co., Section 2, 1-54.
- [8] Ann.: DC-10-30 Flight Crew Operating Manual. Mc Donald Douglas Aircraft Co., Vol II, 10-00-01 do 11-27-03.
- [9] Ann.: Cessna Citation II. Technical data.
- [10] Z. DEVIDE: Ekološki aspekti prometnog sistema Jugoslavije. *Suvremeni promet*, 10, 1988, 4/5, 387-392.
- [11] H. DŽANIĆ: Pogonske materije. Zagreb, VZŠ, 1977, 133-158.
- [12] V.D. ENENKOV i A.A. GORBATKO: Zaštita okružujućej sredi pri aviotransportnih processah. Moskva, Transport, 1984, 65-90.
- [13] Z. GABRIEL: Neki vidovi zagađenja čovjekove okoline vazdušnim saobraćajem. *Suvremeni promet*, 10, 1988, 4/5, 702-709.
- [14] B. GELO: Ein Beitrag zum Problem der Parametrisation der Konvektionswolken in der Verbindung zu den Strömungen der Makroskale. Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, Grindelwald, 40, 1. Teil, 1977, 172-174.
- [15] B. GELO: Mezometeorološki model za prognozu oborina u razvijenoj orografiji pri pojedinim smjerovima vjetrova. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, 1987, 82.
- [16] B. GELO: Mezomodeli atmosfere i sigurnost prometa. *Suvremeni promet*, 10, 1988, 4/5, 717-721, (a).
- [17] B. GELO: Mezometeorološki model za prognozu oborina u razvijenoj orografiji. *Rasprave*, 23, Zagreb, 1988, 63-74, (b).
- [18] M.S. HONG i G.R. CARMICHAEL: Examination of a subgrid-scale parameterization for the transport of pollutants in a nonprecipitating cumulus cloud ensemble. *Atmospheric Environment*, 20, 1986, 11, 2205-2217.
- [19] A.U. KASLMAN: Neitralnie i zarjažennie klasteri v atmosfere: ih značenie i potencialnaja rolj v hetero-

gennom katalize. Heterogennaja himija atmosfere. Leningrad, Hidrometeoizdat, 1986, 33-62.

- [20] E. MATIJEVIĆ: Hirničeskie reakcii s učastiem aerorozolej. Heterogennaja himija atmosfere. Leningrad, Hidrometeoizdat, 1986, 89-99.
- [21] I. PENZAR, I. LISAC, N. ŠINIK i J. JURAS: Meteorološki faktori u sigurnosnim i ekološkim aspektima prometa. Suvremeni promet, 10, 1988, 4/5, 493-494.
- [22] R.A. PIELKE: Mesoscale meteorological modeling. Orlando, Academic press, 1984, 612.