



UPRAVLJANJE SAOBRAĆAJEM KAO MERA ZA SMANJENJE IZLOŽENOSTI BUCI OKOLINE AERODROMA

Feđa Netjasov¹

ID: 19-06

Sadržaj: Jedan od najvećih problema savremenih aerodroma je buka koju generiše vazdušni saobraćaj, tj. uticaj buke na stanovnike u okolini aerodroma. Buka je posledica koja se ne može izbeći ali se raznim merama može smanjiti: tehničkim inovacijama na avionima, pravnom regulativom, itd. Ove mere su često puta diskriminišuće za mnoge vazduhoplovne kompanije. Ovaj rad predstavlja novu meru razvijenu za potrebe aerodroma Cirih (jedan od 10 najprometnijih aerodroma u Evropi) koja nije diskriminišuća za prevoziocima a koja omogućava smanjenje nivoa buke u okolini aerodroma. Predložena mera se bazira na novom modelu upravljanja saobraćajem i uzima u obzir osnovne ciljeve aerodroma Cirih - povećanje kapaciteta aerodroma uz smanjenje nivoa buke u okolini aerodroma. Iako su ciljevi konfliktni pokazalo se da predloženi način upravljanja saobraćajem omogućava smanjenje nivoa buke u proseku za 2dB(A) pri povećanju obima saobraćaja za 20%. Predloženi model upravljanja saobraćajem zasniva se na kategorizaciji aviona na bazi tipa motora (mlazni i elisni) i klasi turbulencije koju avioni stvaraju (teški, srednji, mali i laki) i dodeli određene poletno-sletne staze za poletanje i sletanje svakoj od navedenih kategorija.

1. OPIS PROBLEMA

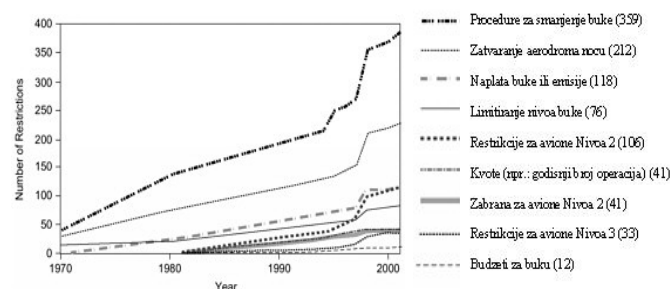
Buka koju generiše vazdušni saobraćaj je najveći ekološki problem sa kojim se danas suočavaju vazduhoplovni prevozioci i aerodromi. Po mnogima, buka je najozbiljniji problem savremenih aerodroma i verovatno će ostati jedan od osnovnih eksploatacionih, planerskih i projektantskih problema u budućnosti pre svega zbog sve veće osetljivosti stanovništva na probleme zaštite okoline [1], tako da je rešavanju ovog problema pridata velika pažnja od strane svih učesnika u vazdušnom saobraćaju (proizvođači aviona, aerodromi, vazduhoplovne kompanije, kontrola letenja, ...).

2. POSTOJEĆI NAČINI REŠAVANJA PROBLEMA IZLOŽENOSTI BUCI

Postoji više nivoa na kojima se rešava problem buke vazdušnog saobraćaja. Prvi nivo se odnosi na rešavanje ovog problema prilikom projektovanja i izrade aviona – smanjenje buke na izvoru (tiši motori, aerodinamička konstrukcija koja stvara manji otpor, itd). Od 60-ih godina pa do danas, na ovaj način je nivo buke smanjen za oko 10 dB(A) (u proseku za 3 dB(A) po deceniji) [1].

Drugi nivo se odnosi na promene u postupcima u odlasku i dolasku, tj. u tehnici pilotiranja tokom pomenutih operacija. Poznate su različite procedure poletanja: CUTBACK, IATA, CLIMB-CLEANUP-CUTBACK..., i sletanja: LOW DRAG - LOW POWER, CONTINUOUS DESCENT APPROACH,... [2] i u osnovi se baziraju na dva zahteva [3]: da se avioni što duže nalaze dalje od zona koje ugrožavaju (veći uglovi penjanja i poniranja) i da stvaraju što manju buku na izvoru (letenje manjom snagom motora). Poslednjih godina se sve više radi na stvaranju novih procedura poletanja i sletanja i na međunarodnoj harmonizaciji i standardizaciji njihovog razvoja [4].

Treći nivo se odnosi na legislativne mere restrikcije koje uvode aerodromi ili vazduhoplovne vlasti (ograničenje korišćenja i/ili zabrana korišćenja aerodroma tokom noći za pojedine ili sve tipove aviona) kojim sankcionišu vazduhoplovne kompanije čiji avioni prekoračuju dozvoljene nivoe buke tokom dolaska ili odlaska, ili potpuno zabranjuju saobraćaj pojedinim vazduhoplovnim kompanijama. Slika 1. prikazuje porast broja aerodroma koji uvode neki oblik restrikcija, u poslednjih 30 godina. Broj restrikcija kao i njihov tip, je sve veći pogotovo posle 1996, zbog sve veće svesnosti stanovništva o postojanju buke vazdušnog saobraćaja [1] (vrednosti uz legendu se odnose na 2001. god).



Sl. 1. Povećanje broja aerodroma sa restrikcijama [1]

3. VARIJABLE OD UTICAJA NA BUKU VAZDUŠNOG SAOBRAĆAJA

Na izloženost buci okoline aerodroma utiče čitav niz faktora počev od lokacije samog aerodroma, tj. topografije terena, pa preko karakteristika saobraćaja (broja poletanja i sletanja kao i njihova raspodela tokom dana), strukture flote koja koristi posmatrani aerodrom (tipova aviona), putanja koje avioni koriste tokom odlaska i dolaska.

¹ Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, 11000 Beograd, f.netjasov@sf.bg.ac.yu

Pored navedenih i drugi faktori doprinose buci kao što su atmosferske karakteristike (npr: temperatura vazduha), kretanje aviona i opslužnih vozila po manevarskim površinama aerodroma kao i odvijanje drugih aktivnosti na aerodromu – održavanje aviona, testiranje motora... [5].

4. MERENJE BUKE VAZDUŠNOG SAOBRAĆAJA

Postoji više načina za ocenjivanje buke generisane vazдушnim saobraćajem (više od 20 [6]) počev od buke koja se generiše jednim događajem (odlaskom ili dolaskom) do kumulativnih mera koje uzimaju u obzir sve operacije tokom jednog dana. Svi načini ocene se karakterišu ponderisanjem izmerenog nivoa buke koje može biti frekventno, vremensko i nivosko [6]. Najčešće se danas kao mera pojedinačnog događaja koristi SL (Sound Level) a od kumulativnih Leq (Equivalent Sound Level), CNEL (Community Noise Equivalent Level), DNL (Day – Night Average Sound Level), NEF (Noise Exposure Forecast), itd [5]. Kao jedinica za merenje buke vazdušnog saobraćaja uglavnom se koristi dB(A). Meranjem buke se danas bave specijalizovane službe na aerodromima, koje prikupljaju (na mernim tačkama pomoću "sound level meter"-a), analiziraju i čuvaju podatke o generisanoj buci izmerenoj na mernim tačkama u okolini aerodroma. Ovi podaci se koriste i kao dokaz za sankcionisanje vazduhoplovnih kompanija čiji avioni prekorače dozvoljene nivoe buke. Ovako prikupljeni podaci su namenjeni: vrednovanju novih procedura sletanja i poletanja, tj. vrednovanju efekata za smanjenje buke; pravilnom zoniranju u okolini aerodroma; akustičnoj izolaciji objekata u blizini aerodroma; itd [4].

5. UPRAVLJANJE SAOBRAĆAJEM KAO MERA SMANJENJA IZLOŽENOSTI BUCI

Težnja savremenih aerodroma je smanjenje buke u okolini aerodroma primenom najrazličitijih mera. Sa druge strane, u interesu aerodroma je da opsluže narastajući saobraćaj i da pri tome ne izgube potencijalne klijente primenom nekih diskriminišućih mera za smanjenje buke. Uzevši sve u obzir, došlo se na ideju da bi se na aerodromima koji imaju već uvedene neke od mera za smanjenje nivoa buke, novi, dodatni efekat smanjenja mogao ostvariti različitim načinima upravljanja saobraćajem. Ovaj rad upravo predstavlja jedan model upravljanja saobraćajem sa ciljem smanjenja nivoa buke kao i rezultate njegove primene na primeru Aerodroma Ciriha.

Ovde predloženi model je razvijen sa ciljem da se smanji nivo buke uz istovremeno povećanje iskorišćenja raspoloživih aerodromskih resursa (kapaciteta izraženog kroz časovni broj operacija). Predstavljeni model namenjen je potrebama planiranja. Model se sastoji iz nekoliko koraka i za posmatrani aerodrom sadrži sledeće pretpostavke:

1. poznavanje obima saobraćaja za posmatrani dan – broj poletanja i sletanja i njihova raspodelu tokom dana;
2. poznavanje prosečne buke koju generišu pojedini tipovi aviona;
3. poznavanje skupa prilaznih i odletnih ruta, kao i njihovih karakteristika i
4. odnos udela pojedinih tipova aviona u ukupnom saobraćaju tokom dana je konstantan (dan, večer, noć).

KORAK 1: Analiza karakteristika dnevnog saobraćaja (tekućeg ili prognoziranog) sa ciljem određivanja strukture flote koja koristi aerodrom (tipova aviona kao i broja aviona određenog tipa (N) koji se pojavljuju tokom dana);

KORAK 2: Kategorizacija aviona koji koriste aerodrom u zavisnosti od tipa pogonske grupe (turboprop ili mlazni) i klase u odnosu na turbulenciju (Heavy, Medium, Large and Small).

KORAK 3: Analiza prosečnih (izmerenih) vrednosti buke koju generišu avioni različitog tipa, iznad M specifičnih mernih tačaka (za dolaske i odlaske ponaosob).

KORAK 4: Raspoređivanje aviona različitih kategorija na poletno-sletne staze (PSS) u upotrebi (heuristički model) na bazi sledećih kriterijuma (po važnosti):

1. prosečne vrednosti nivoa buke za svaki tip aviona (u dolasku i odlasku);
2. raspoloživa dužina PSS;
3. preletanje gusto naseljenih oblasti.

Raspoređivanje se bazira na znanju i iskustvu kontrolora letenja a podrazumeva poznavanje karakteristike aviona, dužine PSS-a i okoline aerodroma. Na primer, umesto da avion u dolasku sleće na jednu PSS gde iznad neke merne tačke generiše visok nivo buke, uputiti ga na drugu PSS (ako je njena dužina dovoljna za sletanje posmatranog tipa aviona) gde bi iznad odgovarajuće merne tačke generisao niži nivo buke. Raspoređivanje aviona na PSS-e zavisi i od meteoroloških ograničenja (stanje PSS kao i operativnog koncepta u upotrebi, tj. konfiguracije PSS u upotrebi) koja zavisi od trenutne ili prognozirane meteorološke situacije.

KORAK 5: Izračunavanje nivoa buke po predloženom (statističkom) modelu za svaku od mernih tačaka u okolini aerodroma (na bazi svih dolazaka i odlazaka):

$$NL_i^{arr} = \frac{1}{m_i^{arr}} \sum_j (a_{ij}^{arr} \cdot n_{ij}^{arr}) \quad (1)$$

$$NL_i^{dep} = \frac{1}{m_i^{dep}} \sum_j (a_{ij}^{dep} \cdot n_{ij}^{dep}) \quad (2)$$

$$NL_i = \max \{ NL_i^{arr}, NL_i^{dep} \} \quad (3)$$

gde je:

i – merna tačka, $i=1$ do M ;

j – tip aviona, $j=1$ do N ;

NL_i^{arr} – nivo buke na mernoj tački i tokom dolaska;

NL_i^{dep} – nivo buke na mernoj tački i tokom odlaska;

NL_i – maksimalni nivo buke na mernoj tački i ;

n_{ij}^{arr} – nivo buke koji avion tipa j generiše na mernoj tački i tokom dolaska;

n_{ij}^{dep} – nivo buke koji avion tipa j generiše na mernoj tački i tokom odlaska;

m_i^{arr} – ukupan broj aviona tokom dana koji preleću mernu tačku i u dolasku;

m_i^{dep} – ukupan broj aviona tokom dana koji preleću mernu tačku "i" u odlasku;

a_{ij}^{arr} – broj aviona tipa j koji tokom dana preleću mernu tačku i u dolasku;

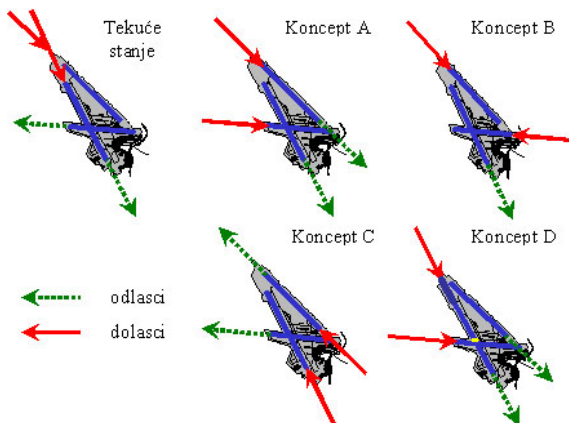
a_{ij}^{dep} – broj aviona tipa j koji tokom dana preleću mernu tačku i u odlasku.

KORAK 6: Poređenje dobijenih vrednosti nivoa buke NL_i (KORAK 5) za svaku od M mernih tačaka, između različitih operativnih koncepata kao i različitih vremenskih preseka.

6. NUMERIČKI PRIMER – AERODROM CIRIH

Predloženi model upravljanja saobraćajem ilustrovan je na primeru Aerodroma Cirih. Ovoj aerodrom spada u red najopterećenijih aerodroma u Evropi po obimu saobraćaja i pionir je u primeni mera kontrole uticaja vazdušnog saobraćaja na okolinu (buka i emisija izduvnih gasova). Karakteriše se složenom infrastrukturom (tri PSS), velikim operativnim ograničenjima (9 km od centra grada, 15 km od granice sa Nemačkom) i velikim obimom saobraćaja (oko 1000 operacija dnevno).

Aerodrom Cirih je 2000. godine definisao svoj strateški cilj koji se odnosi na povećanje obima saobraćaja do 2005. godine za 20% (sa 297000 operacija 2000. godine na 358000 operacija 2005. godine). Definisani su prihvatljivi operativni koncepti koji bi omogućili povećanje kapaciteta i time opslugu planiranog obima saobraćaja (slika 2). Drugi cilj, podjednako važan, odnosio se na smanjenje nivoa buke u okolini aerodroma.



Sl. 2. Tekuće stanje i raspoloživi operativni koncepti

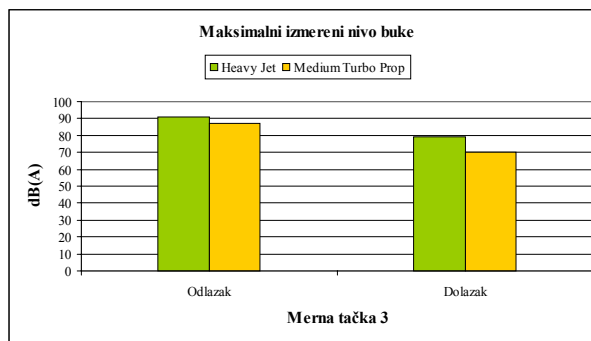
Korišćeni su podaci o saobraćaju iz novembra 2000 godine, na bazi kojih je definisan "Prosečan novembarški dan 2000". Analizom je utvrđeno da aerodrom pomenutog dana koristi 34 tipa aviona. Na bazi ovih podataka kao i podataka o planiranom broju operacija za 2005. godinu, prognozirani su "Prosečan novembarški dan 2005". Prognoza je uzela u obzir i planirani tehnološki razvoj aviona kao i planove nekih avio kompanija koji se odnose na uvođenje novih aviona u eksploataciju. Na Aerodromu Cirih postoji služba za monitorisanje nivoa buke, koja prikuplja podatke o izmerenom nivou buke za svaki tip aviona (posebno za dolaske i odlaske) ponaosob preko mreže od 9 mernih tačaka (sound level meter) u okolini aerodroma (slika 3). Ove podatke pomenuta služba statistički obrađuje i dostavlja na uvid javnosti.

Analizom saobraćaja iz prosečnog novembarškog dana 2000. godine (814 operacija), ustanovljen je vršni period između 8 i 11 časova sa ukupno 194 operacije. U ovom vršnom periodu 31% operacija se odnosio na Medium Turbo Prop (MTP) avione, 71% Medium Jet (MJ) i 13% Heavy Jet (HJ).

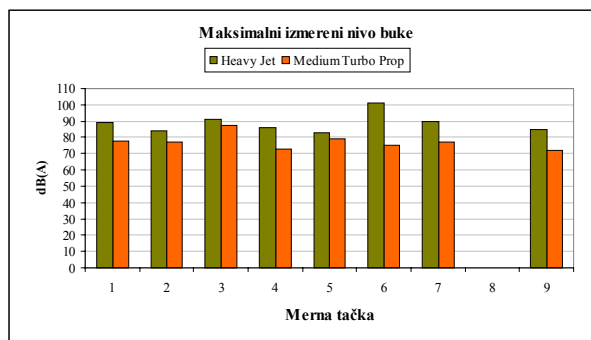


Sl. 3. Raspored lokacija mernih tačaka

Analiza buke za svih 34 tipa aviona pokazala je da je buka u odlasku veća od buke u dolasku, za iste tipove aviona (slika 4, primer merne tačke broj 3, poređenje Medium Turbo Prop i Heavy Jet [7]), kao i da Medium Turbo Prop avioni generišu manju buku od Medium i Heavy Jet aviona (slika 5, poređenje po mernim tačkama, za mernu tačku broj 8 podaci nisu bili dostupni).



Sl. 4. Poređenje buke u odlasku i dolasku



Sl. 5. Poređenje nivoa buke različitih tipova aviona

Predloženi model je primenjen na tekućoj konfiguraciji staza u upotrebi a potom na svakom od postojećih 4 operativna koncepta. Prosečni nivoi buke su prikazani u Tabeli 1. Rezultati nesumnjivo ukazuju da novi koncepti u izvesnim slučajevima utiču na smanjenje buke (u odnosu na tekuće stanje). Vrednosti nivoa buke variraju zavisno od operativnog koncepta u upotrebi kao i posmatrane merne tačke [8]. Na nekim mernim tačkama kako na tekućoj konfiguraciji, tako i na ostalim operativnim konceptima, nije bilo moguće izračunati nivoe buke ili nije bilo potrebe za tim zbog lokacije merne tačke.

Tabela 1. Prosečne vrednosti nivoa buke u dB(A) po operativnim konceptima (2000. godina)

Merna tačka	Koncept				
	Tekuće stanje	A	B	C	D
1	79.81	67.16	67.16	74.72	-
2	75.71	< Mik. 1	< Mik. 1	73.08	-
3	71.18	72.89	72.89	81.19	72.91
4	< Mik. 3	< Mik. 3	< Mik. 3	74.94	< Mik. 3
5	< Mik. 3	< Mik. 3	< Mik. 3	71.32	< Mik. 3
6	92.21	74.86	74.86	67.17	80.36
7	80.26	73.19	73.19	< Mik. 6	73.69
8	-	-	-	-	-
9	-	84.43	84.43	72.80	67.16

Da bi se proverili efekti predloženog modela, posmatran je i prognoziran saobraćaj, na primeru prosečnog novembarskog dana 2005. godine (984 operacije, Tabela 2.). U ovom danu je zadržano procentualno učešće pomenute tri kategorije aviona, kao i u danu iz 2000. godine. I pored povećanja saobraćaja za 20%, pokazalo se da primenjeni model utiče na smanjenje nivoa buke tako da poredeći vrednosti u dva vremenska preseka a za isti operativni koncept u upotrebi i za istu posmatranu mernu tačku, izračunate vrednosti su uglavnom manje [8] (Tačnost prikazanih vrednosti nivoa buke korišćena je samo iz računskih razloga).

Tabela 2. Prosečne vrednosti nivoa buke po operativnim konceptima (2005. godina)

Merna tačka	Koncept			
	A	B	C	D
1	66.57	66.57	74.17	-
2	< Mik. 1	< Mik. 1	71.79	-
3	72.89	72.89	81.19	72.91
4	< Mik. 3	< Mik. 3	74.94	< Mik. 3
5	< Mik. 3	< Mik. 3	71.32	< Mik. 3
6	73.94	73.94	66.56	80.02
7	72.18	72.18	< Mik. 6	73.32
8	-	-	-	-
9	84.43	84.43	72.80	66.57

Poređenjem prosečnih vrednosti za dva vremenska preseka uočava se da se na nekim mernim mestima ostvaruje smanjenje od 0.5 do 1 dB(A), za zadatu smešu aviona (31% MTP, 71% MJ, 13% HJ). Procentualni odnos aviona u smeši se tokom dana menja, u korist više tiših aviona, tako da se može očekivati da vrednosti smanjenja mogu da se povećaju i do 2 dB(A).

7. ZAKLJUČAK

Problem izloženosti buci vazdušnog saobraćaja se praktično rešava primenom raznih mera, često puta diskriminišućih za mnoge vazduhoplovne kompanije. U ovom radu je predstavljen model smanjenja nivoa buke baziran na upravljanju saobraćajem koji nije diskriminišući. Model se zasniva na kategorizaciji aviona sa aspekta tipa motora i klasi turbulencije. Za ovako definisane kategorije aviona, vrši se njihovo raspoređivanje na poletno-sletne staze sa ciljem smanjenja izloženosti buci putem heurističkog modela.

Ilustracije redi, model je testiran na primeru Aerodroma Ciriha, za različite operativne koncepte kao i različite vremenske preseke. Pokazalo se da je, i u slučaju povećanja obima saobraćaja za 20%, moguće ostvariti smanjenje nivoa buke (i do 2 dB(A)).

LITERATURA

- [1] National Research Council, *For Greener Skies - Reducing Environmental Impacts of Aviation*, Washington, D.C. USA, 2002.
- [2] Uwe Rottman, *Reduction of Aircraft Noise in Civil Air Transport by Optimization of Flight Tracks and Take-Off and Approach Procedures*, Technical University of Berlin, Germany, 1988.
- [3] Vojin Tošić, *Vazduhoplovna pristaništa*, Savezna uprava za kontrolu letenja, Beograd, 1978.
- [4] Robert de Muynck, "The SOURDINE Project: Developing Environmentally Friendly Arrival and Departure Procedures", *Air Traffic*, pp. 282-284, 2001.
- [5] Dušan Kalić, "Dozvoljeni nivoi Ldn i Leq za dan i noć", Institut IMS, Beograd, 1989. (interni dokument)
- [6] *California Airport Land Use Planning Handbook: Chapter 6: Measuring Airport Noise*, 2002.
- [7] *Lärm Bulletin*, Zurich Airport, Zurich, 2000.
- [8] Fedja Netjasov, *Implementation of New Zurich Airport Capacity Concepts, Volume 3: Noise Balancing Around Zurich Airport*, Zurich Airport, Zurich, 2000.

Abstract - One of the biggest problems of modern airports is noise generated by the air traffic, i.e. noise influence on inhabitants in airport surrounding. Noise is consequence which couldn't be avoid but could be decreased by numerous measures: technical innovation on aircraft, legislation, etc. Those measures are often discriminating for some airlines. This paper presents a new measure developed for the needs of Airport Zurich (one of the 10 busiest airport in Europe) which is not discriminating for airlines and which allows decrease of noise level in airport surrounding. Proposed measure is based on new air traffic management model and takes into account Airport Zurich basic goals – airport capacity increasing with decreasing of noise level in airport surrounding. Although, mentioned goals are conflict, it was shown that proposed air traffic management model allowed decreasing of noise level for, in average, 2dB(A) with traffic volume increasing of 20%. Proposed air traffic management model is based on categorization of aircraft according to engine type (jet and turbo prop) and wake turbulence category (heavy, middle, small and light) and assignment of specific runway for take-off and landing for each of mentioned categories.

AIR TRAFFIC MANAGEMENT AS A MEASURE OF NOISE EXPOSURE DECREASE IN AIRPORT SURROUNDING

Fedja Netjasov