

UTICAJ VREMENSKIH USLOVA NA MERENJE AVIONSKE BUKE

Gordana Jurin, Milorad Pavlović, Vazduhoplovni opitni centar, Beograd

Sadržaj – U ovom radu prikazan je postupak određivanja koeficijenta atmosferskog slabljenja u realnoj atmosferi u zavisnosti od temperature i relativne vlažnosti vazduha, na propagacionom putu zvučnih talasa od izvora do mernog mesta, u procesu određivanja nivoa avionske buke.

1. UVOD

Stanje atmosfere je izuzetno važan faktor pri merenju spoljašnje buke. Atmosfera kao medijum kroz koji se prostiru zvučni talasi, svojim svojstvima utiče na brzinu njihovog prostiranja, stepen slabljenja i fluktuaciju nivoa.

Svi standardi koji se bave problematikom merenja buke na otvorenom prostoru, definišu vremenske uslove, propisivanjem granica za vetar, temperaturu i relativnu vlažnost, u kojima se rezultati merenja smatraju validnim. Za merenje buke klipnoelisnih i mlaznih aviona na mernim mestima u okolini aerodroma, u fazi poletanja i sletanja, standard ICAO Annex 16 definiše navedene parametre za propagacioni put, izvor - merno mesto, kao i podatke za koeficijent atmosferskog slabljenja, i to maksimalnu vrednost za terčni opseg 8 kHz i granice varijacije za opseg 3150 Hz u periodu 10 dB ispod maksimuma buke.

Pošto atmosferski uslovi bitno utiču i na performanse letelica i na prostiranje zvuka kroz atmosferu, a samim tim i na intezitet buke percipirane u mernoj tački, rezultati merenja se normalizuju na referentne uslove. Ovim postupkom eliminišu se odstupanja od referentnih uslova, uključujući i efekte slabljenja realne atmosfere.

U radu je izložena zavisnost atmosferskog slabljenja od vremenskih uslova i postupak određivanja koeficijenta atmosferskog slabljenja u standardnoj i realnoj atmosferi u toku procesa određivanja buke mlaznih aviona.

2. ATMOSFERSKO SLABLJENJE ZVUKA

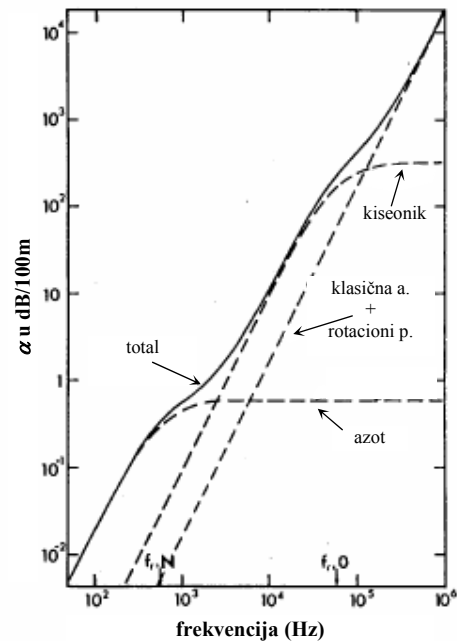
Buka udaljenog izvora, kao što je avion, ponekad je mnogo glasnija u odnosu na ostale dane, iako pritom nije promenjena emitovana snaga izvora buke. Uzrok ove pojave mogu biti brojni faktori jer je propagacija buke kompleksna pojava na koju ima uticaj vetar, temperatura, oblaci, magla, topografija, zidani objekti.

Distribucija zvučnih talasa odvija se u svim pravcima od izvora. U opštem slučaju nivo zvuka opada sa udaljavanjem izvora od prijemnika. Vremenski uslovi mogu promeniti pravac prostiranja zvuka i usloviti varijaciju njegovog nivoa, posmatrano na istoj lokaciji u različito vreme. Sa povećanjem propagacionog puta, povećava se i fluktuacija nivoa.

Disipacija zvučne energije u realnoj atmosferi je posledica klasične apsorpcije i relaksacionih procesa. Klasičnom apsorpcijom obuhvaćeni su viskozni gubici koji nastaju zbog međusobnog trenja molekula vazduha, što rezultira oslobađanjem toplote. Relaksacioni procesi podrazumevaju vibraciono i rotaciono kretanje molekula vazduha izazvano trenutnom apsorpcijom zvučne energije, nakon čega dolazi do

reemisije zvuka sa kašnjenjem, uz veliku verovatnoću interferencije sa dolazećim zvukom.

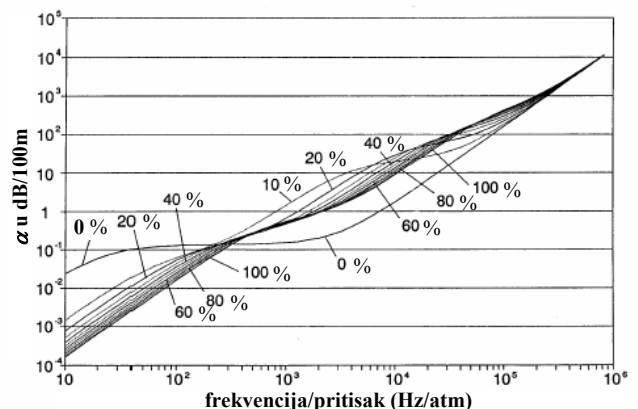
Stepen disipacije, izražen preko koeficijenta atmosferskog slabljenja (α) u dB/100m, zavisi od frekvencije zvuka u Hz i meteoroloških parametara atmosfere, temperature (θ) u °C i relativne vlažnosti (H) u procentima.



Sl. 1 Predikcija α u dB/100m za pritisak od 1 atmosfere, pri temperaturi 20 °C i relativnoj vlažnosti od 70 %

Sa porastom frekvencije akustičkog signala povećava se i apsorpcija njegove energije. Slabljenje signala na nižim frekvencijama posledica je vibraciono-relaksacionih procesa molekula kiseonika i azota, a na višim frekvencijama dominaciju preuzima klasična apsorpcija i rotaciono-relaksacioni procesi, sl. 1.

Tako buka koju stvaraju mlazni avioni više je izložena atmosferskom slabljenju, nego buka klipnoelisnih aviona. Buka mlaznih motora pomerena je ka višim frekvencijama, za razliku od klipnoelisne pogonske grupe koja je u nižem delu spektra.



Sl. 2 Uticaj relativne vlažnosti na koeficijent α

Relativna vlažnost uglavnom opada sa visinom. Njen uticaj na koeficijent α dat je na sl. 2. Interesantno je napomenuti da apsorpcija opada sa porastom vlažnosti sem u uslovima totalno suvog dana, relativna vlažnost 0 %, kada je apsorpcija najniža.

Za atmosferu karakteristična je promena temperature sa visinom. Zbog postojanja temperaturnog gradijenta, zvučni talasi se povijaju ka sloju sa nižom temperaturom. U dnevnim uslovima ovaj gradijent je obično negativan, a u noćnim pozitivan. Sve ovo utiče na brzinu prostiranja zvuka koja je srazmerna kvadratnom korenu apsolutne temperature vazduha, relacija 1. Uticaj vlažnosti se zanemaruje jer je naglašen gradijent vlažnosti retka pojava u atmosferi. Posledica ovih refrakcionih efekata je povećanje ili smanjenje nivoa zvuka u tački prijema.

$$c = 20.05 \cdot \sqrt{T + e/p} \quad (1)$$

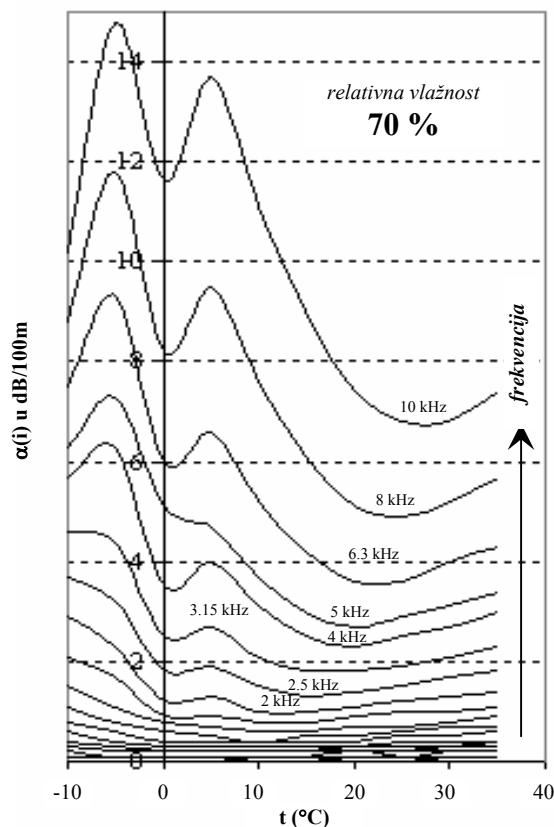
gde je:

c - brzina zvuka u m/s

T - apsolutna temperatura u °K

e - parcijalni pritisak vodene pare (psi)

p - barometarski pritisak (psia)



Sl. 3 Zavisnost koeficijenta α od temperature za spektralne komponente po tercama, akustičkog signala, pri relativnoj vlažnosti 70 %

S druge strane i prisustvo oblaka može izazvati povijanje zvučnih talasa prema zemlji i u tom slučaju, zvuk na mestu prijemnika je glasniji. Do istog efekta dolazi i u slučaju temperaturne inverzije koja nastaje pri mešanju toplog i hladnog vazduha, pa u nekom od slojeva vazduha temperatura se povećava sa porastom visine. Navedeni vremenski uslovi usporavaju atmosfersku apsorpciju zvučnih talasa i mogu doprineti da se buka udaljenog izvora glasnije čuje.

Zavisnost od temperature prikazana je na sl. 3.

Vetar takođe može izazvati savijanje putanje zvučnih talasa i variranje njegovog nivoa u tački prijema. Pojava turbulencije, kao posledica promenljivog pravca vetra i temperaturnih inverzija, može da prouzrokuje fluktuaciju nivoa zvuka i do 10 dB u kratkom vremenskom periodu, reda 1-2 minuta.

Navedeni promenljivi vremenski uslovi ne pokrivaju sve mogućnosti ali su indikacija kako mogu da utiču na propagaciju zvučnih talasa, a u slučaju merenja na konačan rezultat.

3. POSTUPAK PRORAČUNA α

Pri određivanju nivoa buke aviona kategorije "Chapter" 2, 3, 4 i 5, prema međunarodnom standardu ICAO, Annex 16, koji se izražava u EPNdB uzima se u obzir i atmosfersko slabljenje na propagacionom putu od izvora do tačke merenja, [1].

Koeficijent atmosferskog slabljenja $\alpha(i)$ se izražava u dB/100m i izračunava se za svaku pojedinačnu tercu na osnovu relacija (2) i (3) i podataka za $\eta(\delta)$ ilustrovanih na sl. 4.

$$\alpha(i) = 10^{\left[2.05 \log\left(\frac{f_0}{1000}\right) + 1.1394 \cdot 10^{-3} \cdot \theta - 1.916984\right]} + \eta(\delta) \cdot 10^{\left[\log(f_0) + 8.42994 \cdot 10^{-3} \cdot \theta - 2.755624\right]} \quad (2)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1010}{f_0}} \cdot 10^{\left(\log H - 1.328924 + 3.179768 \cdot 10^{-2} \cdot \theta\right)} \times 10^{\left(-2.173716 \cdot 10^{-4} \cdot \theta^2 + 1.7496 \cdot 10^{-6} \cdot \theta^3\right)} \quad (3)$$

gde je:

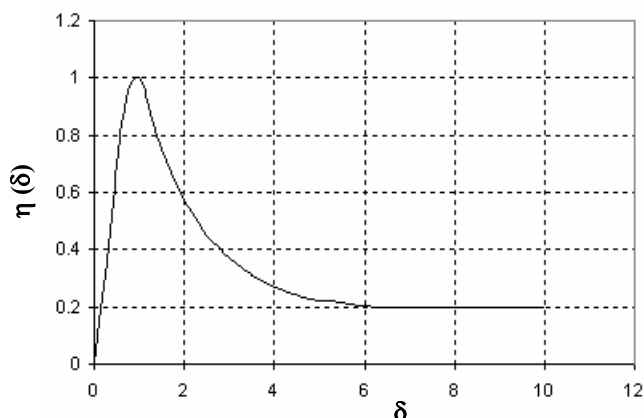
$\alpha(i)$ - koeficijent atm. slabljenja u i -toj terci izražen u dB/100m

i - redni broj terce

θ - temperatura u °C

H - relativna vlažnost u %

f_0 - frekvencija u Hz



Sl. 4. Podaci za $\eta(\delta)$

Frekvencija f_0 za terčne opsege do 4000 Hz jednaka je centralnoj frekvenciji, a za opsege 5000 Hz, 6300 Hz, 8000 Hz i 10000 Hz iznosi 4500 Hz, 5600 Hz, 7100 Hz i 9000 Hz, respektivno.

Ovom korekcijom nije obuhvaćen uticaj vetra, već samo temperature i relativne vlažnosti.

Podaci za $\alpha(i)$ koriste se za korekciju merenih podataka, nivo zvučnog pritiska, $SPL(i,k)$, u procesu normalizacije na referentne uslove [1;4].

$$\alpha(i) = \frac{\alpha(i)_{10m} + \alpha(i)_{ha}}{2} \quad (4)$$

4. KOREKCIJA U STANDARDNOJ ATMOSFERI

Pod standardnom atmosferom podrazumeva se atmosfera u kojoj nema turbulencija i refrakcija, vetar je nula, atmosferski pritisak jednak je pritisku na nivou mora, 1013.25 mbara, temperatura 25 °C i relativna vlažnost 70 %.

Koeficijent atmosferskog slabljenja za standardnu atmosferu, $\alpha(i)_0$, izračunava se prema relaciji 2, za sve terce sa centralnim frekvencijama 50 Hz - 10 kHz.

5. KOREKCIJA U REALNOJ ATMOSFERI

U realnoj atmosferi dolazi do devijacije putanje prostiranja zvuka zbog atmosferske apsorpcije, neuniformnosti medija izazvane meteorološkim uslovima (refrakcija i turbulencija) i interakcije sa preprekama i apsorpcionim svojstvima tla.

Za razliku od standardne atmosfere, ovde se izračunava srednja vrednost koeficijenta atmosferskog slabljenja zvuka na propagacionom putu, izvor - prijemnik.

Način proračuna $\alpha(i)$ zavisi od varijacije ovog koeficijenta za opseg 3150 Hz na propagacionom putu od izvora do tačke merenja, u periodu 10 dB ispod maksimuma buke, nivo $PNLTM$, [2]. Dozvoljena varijacija je ± 0.5 dB/100m, u svim slojevima u odnosu na vrednost α na visini 10 m. Za ovo testiranje potrebni su podaci za temperaturu i relativnu vlažnost na granicama slojeva visine 30 m, od mernog mesta do visine aviona u trenutku detekcije maksimalne buke.

Ukoliko je propisani zahtev za varijaciju $\alpha(3150\text{Hz})$ zadovoljen, tada je α u i -toj terci jednak srednjoj vrednosti koeficijenata atmosferskog slabljenja na 10 m iznad tla ($\alpha(i)_{10m}$) i na visini gornje granice sloja unutar kojeg je detektovana maksimalna buka ($\alpha(i)_{ha}$), relacija 4.

Kada propisani zahtev nije zadovoljen, tada je neophodna primena prethodno definisanih slojeva na propagacionom putu avion - mikrofon, za sve terčne opsege. Pretpostavka je da je propagacija pravolinijska i da je odnos kose i vertikalne propagacione daljine konstantan u svim slojevima. Cilj ove metodologije je da se odredi doprinos svakog pojedinačnog sloja u ukupnom koeficijentu atmosferskog slabljenja u posmatranoj terci.

Za svaki sloj izračunavaju se granične vrednosti koeficijenta atmosferskog slabljenja ($\alpha(i)_{dn}$ i $\alpha(i)_{gn}$), koje se potom usrednjavaju. Dobijena vrednost važi za posmatrani sloj n .

Ukupan koeficijent atmosferskog slabljenja za posmatranu tercu je suma ovako dobijenih koeficijenata za pojedinačne slojeve, koji su prethodno normalizovani odnosom efektivne visine sloja i visine aviona u trenutku maksimuma umanjene za visinu mikrofona, 1.2 m, relacija 5.

Efektivna visina jednaka je visini sloja, sem za prvi i poslednji. U prvom je umanjena za visinu mikrofona, a u poslednjem se uzima razlika visine aviona i donje granice sloja u kome je detektovan maksimum buke.

$$\alpha(i) = \sum_{n=1}^n \frac{\alpha(i)_{dn} + \alpha(i)_{gn}}{2} \cdot \frac{h_n}{h_a - h_m} \quad (5)$$

gde je:

- $\alpha(i)_{dn}$ - koeficijent apsorpcije za donju granicu n -tog sloja
- $\alpha(i)_{gn}$ - koeficijent apsorpcije za gornju granicu n -tog sloja
- h_n - efektivna visina n -tog sloja, izražena u m
- h_m - visina mikrofona, 1.2 m
- h_a - visina aviona u trenutku maksimalne buke, izražena u m

T-1. Srednja vrednost koeficijenta atmosferske apsorpcije, $\alpha(3150\text{Hz})$, za neslojevitom atmosferu

n	h_{sn} (m)	θ (°C)	H (%)	$\alpha(3150\text{Hz})_n$ dB/100m	Δ dB/100m	$\alpha(3150\text{Hz})$ dB/100m	$\alpha(3150\text{Hz})_0$ dB/100m	EPNL (EPNdB)
1	10	28.2	38	2.1202		2.1624	1.9325	94.3
2	30	27.6	38	2.1293	0.0091			
3	60	26.2	38	2.1618	0.0416			
4	90	27.1	37	2.1740	0.0538			
5	120	26.9	36	2.2045	0.0843			

T-2. Srednja vrednost koeficijenta atmosferske apsorpcije, $\alpha(3150\text{Hz})$, za slojevitom atmosferu

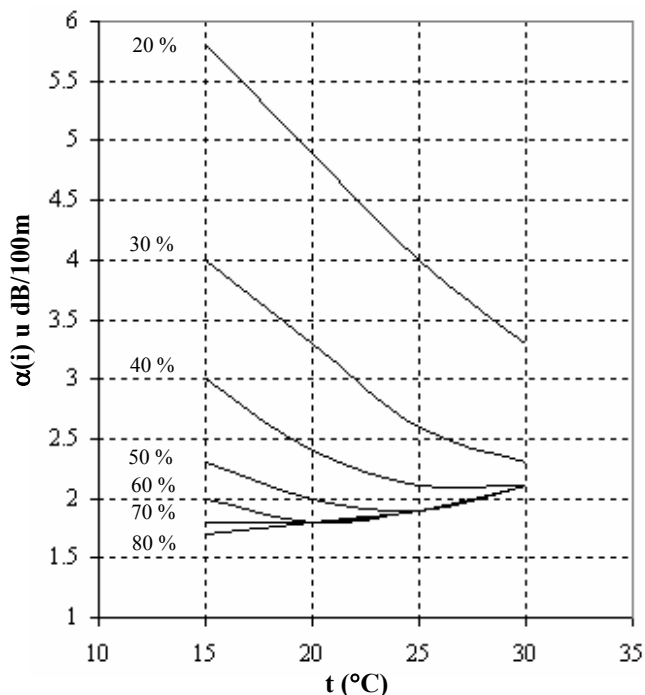
n	h_{sn} (m)	θ (°C)	H (%)	$\alpha(3150\text{Hz})_n$ dB/100m	Δ dB/100m	$\alpha(3150\text{Hz})$ dB/100m	$\alpha(3150\text{Hz})_0$ dB/100m	EPNL (EPNdB)
1	10	28.2	38	2.1202		2.2274	1.9325	93.6
2	30	27	37	2.1759	0.0537			
3	60	25.8	37	2.1909	0.0707			
4	90	23.5	35	2.4039	0.2857			
5	120	20.6	34	2.7452	0.6250			

gde je:

- n - redni broj granice slojevite atmosfere
- h_{sn} - n -ta granica sloja u slojevitoj atmosferi
- $\alpha(3150\text{Hz})_n$ - vrednost α na n -toj granici slojevite atmosfere
- $\Delta = \alpha(3150\text{Hz})_n - \alpha(3150\text{Hz})_1$

- $\alpha(3150\text{Hz})$ - ukupan koeficijent atmosferskog slabljenja na propagacionom putu avion - mikrofon
- $\alpha(3150\text{Hz})_0$ - α u standardnoj atmosferi (25 °C, 70 %)
- EPNL - efektivni nivo percipirane buke

Radi ilustrovanja značaja kompenzacije atmosferskog slabljenja i njen uticaj na konačan rezultat, u procesu određivanja nivoa avionske buke, u tabelama 1 i 2 prikazani su podaci za $\alpha(3150\text{Hz})$ i nivo *EPNL*, za neslojevitu i slojevitu atmosferu, respektivno. Za ulazne podatke uzeti su realni podaci merenja buke mlaznog aviona G-2A u mirnoj atmosferi, pri preletu mernog mesta u fazi sletanja, a za meteo podatke u slojevitoj atmosferi, izvršena je predikcija podataka za temperaturu i relativnu vlažnost.



Sl. 5 Uticaj temperature i relativne vlažnosti na vrednost α , terčni opseg 3150 Hz

Primena ovog postupka je značajnija za duže propagacione puteve zvučnih talasa (prelet u fazi poletanja) i u uslovima kada

je relativna vlažnost vazduha 20 % - 40 %, a temperatura niža od 20 °C, (sl. 5).

6. ZAKLJUČAK

Primenom postupka korekcije atmosferskog slabljenja u procesu određivanja nivoa buke aviona kategorije "Chapter" 2, 3, 4 i 5, prema međunarodnom standardu ICAO, Annex 16, doprinosi povećanju stepena ponovljivosti rezultata merenja. Važnost primene se ogleda u slučajevima kada je *EPNL* za testirani avion blizu standardom propisanih granica.

6. LITERATURA

- [1] ICAO Annex 16, Environmental Protection, Volume I - Aircraft Noise, Third Edition, 1993.
- [2] Advisory Circular AC No: 36-4C - U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 15.07.2003.
- [3] J.R. Hassall, K. Zaveri, Acoustic Noise Measurements, 1979
- [4] Vladimir Zeljković, Vojkan Bošković, Gordana Jurin, Postupak korekcije izmerenog nivoa avionske buke kada uslovi merenja i referentni uslovi nisu identični, Konferencija za ETRAN, Teslić, Sveska II, str. 294-297, jun 2002. god

Abstract - This paper presents the procedure for determining the atmospheric sound attenuation coefficient of real atmosphere as function of the temperature and the relative humidity over sound waves propagation path from aircraft to measurement point. This is concerned to aircraft noise level determination process.

EFFECTS OF WEATHER CONDITIONS ON AIRCRAFT NOISE MEASUREMENT

Gordana Jurin, Milorad Pavlović