

METODOLOGIJA PRORAČUNA HELIKOPTERSKE BUKE PRIMENOM INM MODELA

Asis. Miloš Lukić¹, master inž. građ.

¹ Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, mlukic@grf.bg.ac.rs

V. prof. dr Dejan Gavran, dipl.građ.inž.

¹ Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, gavran@eunet.rs

Doc. dr Sanja Fric, dipl.građ.inž.

¹ Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, sfric@grf.bg.ac.rs

Asis. Vladan Ilić, master inž. građ.

¹ Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, vilic@grf.bg.ac.rs

Asis. Filip Trpčevski, master inž. građ.

¹ Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, ftrpcevski@grf.bg.ac.rs

Asis. Stefan Vranjevac, master inž. građ.

¹ Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, svranjevac@grf.bg.ac.rs

Rezime: Jedan od uzroka sve višeg nivoa stresa među gradskom populacijom jeste buka od saobraćaja. Pored buke čiji je najčešći uzrok drumski ili železnički saobraćaj, karakterističnu vrstu buke proizvodi vazdušni saobraćaj. U ovom radu biće predstavljena analiza buke prouzrokovana helikopterom. Cilj rada je da predstavi metodologiju proračuna buke prouzrokovane helikopterima primenom proračunskog modela i programskog paketa kreiranih od strane Američke federalne uprave za vazduhoplovstvo (FAA). Rad ukazuje na osnovne prednosti i mane proračuna buke primenom ove metodologije.

Ključne reči: Buka, helikopter, INM, životna sredina

HELICOPTER NOISE CALCULATION METHODOLOGY – APPLICATION OF INM NOISE MODEL

Res. Asst. Miloš Lukić, M.Sc. C.E.

¹ Faculty of Civil Engineering University of Belgrade, mlukic@grf.bg.ac.rs

Prof. Dejan Gavran, Ph.D. C.E.

¹ Faculty of Civil Engineering University of Belgrade, gavran@eunet.rs

Asst. Prof. Sanja Fric, Ph.D. C.E.

¹ Faculty of Civil Engineering University of Belgrade, sfric@grf.bg.ac.rs

Res. Asst. Vladan Ilić, M.Sc. C.E.

¹ Faculty of Civil Engineering University of Belgrade, vilic@grf.bg.ac.rs

Res. Asst. Filip Trpčevski, M.Sc. C.E.

¹ Faculty of Civil Engineering University of Belgrade, ftrpcevski@grf.bg.ac.rs

Res. Asst. Stefan Vranjevac, M.Sc. C.E.

¹ Faculty of Civil Engineering University of Belgrade, svranjevac@grf.bg.ac.rs

Abstract: One of the causes of an increasing level of stress among the urban population is traffic noise. Besides the noise that is most commonly caused by road or rail traffic, a characteristic noise type is produced by air traffic. In this paper, helicopter noise analysis will be presented. The aim of the paper is to present a helicopter noise calculation methodology using a calculation model and software created by the US Federal Aviation Administration (FAA). The paper points to the basic advantages and disadvantages of the noise analysis using this methodology.

Keywords: Noise, helicopter, INM, environment

¹ Autor zadužen za korespondenciju: mlukic@grf.bg.ac.rs

1. UVOD

Konstantan porast stepena motorizovanosti društva dovodi do kreiranja novih izazova u vezi sa saobraćajnom infrastrukturom. Izazovi nastali zbog porasta broja stanovništva, a samim tim i putovanja kreiraju probleme različite po prirodi. Svakako jedan od ključnih problema koji je potrebno sagledati i rešiti jeste uticaj razvijanja saobraćajne infrastrukture na životnu sredinu.

Osnovni uzročnici zagađenja životne sredine saobraćajem mogu se podeliti u dve grupe. Prvu grupu čine zagađenja prouzrokovana emisijom štetnih gasova koji nastaju korišćenjem modernih saobraćajnih prevoznih sredstava. Drugu grupu čini zagađenje životne sredine bukom. Fokus ovog rada je predstavljanje metodologije proračuna zagađenja životne sredine bukom proizvedenom vazдушnim saobraćajem.

Jedan od ključnih izazova za vazduhoplovstvo predstavljaju uticaj buke na stanovništvo koje provodi veći deo dana u blizini aerodroma ili heliodroma. Razvojem komercijalnog avio saobraćaja i uvođenjem mlaznih motora kao novog vida pogona letelica, odbojnost stanovništva prema buci je znatno porasla. Usled ovoga definisane su procedure i metodologije proračuna buke usled aviona i helikoptera.

Metodologija koja će biti opisana u ovom radu razvijena je od strane Američke federalne uprave za vazduhoplovstvo (Federal Aviation Authority – FAA). Ova metodologija je razvijena u obliku računarskog programskog paketa Integrated noise model (INM) i primenjuje se za proračun buke na civilnim aerodromima i heliodromima. U Sjedinjenim Američkim Državama se koristi i programski paket NOISEMAP razvijen od strane Američkog ratnog vazduhoplovstva (U.S Airforce) za vojne baze i aerodrome mešovite upotrebe.

Nekoliko faktora utiče na osetljivost stanovništva na buku vazduhoplova. Osnovni faktori su jačina zvuka, trajanje zvuka, trajektorije kretanja letelice tokom operacija poletanja i sletanja, broj i tip operacija, procedure letenja, doba dana, godišnja sezona i meteorološki uslovi. Kakav će biti odgovor stanovništva na buku nastalu vazduhoplovima zavisi od vrste upotrebe zemljišta i zgrada u blizini aerodroma i heliodroma, udaljenosti od lokacije aerodroma i ambijentalne buke na koju se lokalno stanovništvo već naviklo.

2. ZVUČNI PRITISAK I NIVO ZVUČNOG PRITISKA (SOUND PRESSURE LEVEL – SPL)

Zvučna energija nastaje u odgovarajućem izvoru. Prenosi se vazduhom u obliku zvučnih talasa koji predstavljaju sitne fluktuacije pritiska u odnosu na atmosferski pritisak. Fluktuacije u pritisku dolaze do bubne opne u ljudskom slušnom aparatu što dovodi do registrovanja određenog tona. Ove fluktuacije nazivaju se zvučni pritisak i kvantifikuju se kao srednja kvadratna vrednost devijacije pritiska, to jest kvadratni koren prosečne kvadrirane fluktuacije pritiska koja se računa za kratak vremenski period od 1 s. Jednačina za proračun zvučnog pritiska je prikazana pod brojem (I).

$$p_{RMS} = \sqrt{\left(\frac{1}{T} * \int_{t=0}^T p(t)^2 dt\right)} \quad (I)$$

Gde su:

- p_{RMS} = srednja kvadratna vrednost zvučnog pritiska (RMS)
- $p(t)$ = devijacija pritiska u odnosu na atmosferski pritisak u vremenskom trenutku t
- T = vremenski interval za proračun srednje kvadratne vrednosti pritiska, 1 s kod proračuna buke vazduhoplova

Ljudski slušni aparat je sposoban da registruje širok opseg srednje kvadratne vrednosti (root mean square – RMS) zvučnih pritisaka. Primera radi najglasniji zvuk koji ljudsko uvo može da registruje bez bola ima milion puta veću vrednost p_{RMS} u odnosu na najtiši zvuk. Interesantan je način na koji ljudski slušni aparat uočava promene u glasnoći zvuka. Kada se priča o opsegu viših vrednosti p_{RMS} onda je neophodna veća apsolutna promena u jačini zvuka da bi ljudsko uho registrovalo glasniji zvuk u odnosu na opseg sa nižim vrednostima. Kvantifikovanje jačine zvuka na način blizak ljudskoj percepciji zvuka vrši se primenom logaritamske skale, i jedinice decibel(dB).

Nivo zvučnog pritiska (SPL) predstavlja logaritamsku vrednost odnosa kvadrata vrednosti RMS pritiska i kvadrata vrednosti referentnog pritiska. Jedinica je decibel(dB). Formula za proračun nivoa zvučnog pritiska (SPL) je prikazana pod brojem (II).

$$SPL = 10 \log \left(\frac{p_{RMS}^2}{p_0^2} \right) \quad (II)$$

gde su:

- p_{RMS} = srednja kvadratna vrednost zvučnog pritiska (RMS)
- p_0 = referentni pritisak od $20 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$

Vrednost referentnog pritiska je usvojena tako da aproksimira minimalnu srednju kvadratnu vrednost zvučnog pritiska koju ljudski slušni aparat može da registruje. Opseg nivoa zvučnog pritiska koji se najčešće registruje ljudskim uhom se nalazi u granicama od 30 do 100 dB. Neophodno je napomenuti da ljudi primećuju razliku od 6 do 10 dB kao dvostruki porast u subjektivnom osećaju jačine („glasnoće“) zvuka.

Bitna karakteristika zvuka je njegova frekvencija. Kod čistih tonova ona predstavlja koliko puta u 1 s zvučni pritisak osciluje u odnosu na referentni pritisak. Jedinica mere je hertz(Hz). Svaki zvuk prenosi energiju koristeći širok spektar frekvencija. Raspon frekvencija koje ljudsko uho može da registruje je od 16 Hz do 16000 Hz. Interesantna je činjenica da ljudski slušni aparat nije podjednako osetljiv duž celog opsega frekvencija. Frekvencije od 2000 do 4000 Hz daju utisak da su glasnije od ostalih bez obzira što je vrednost p_{RMS} zvučnog pritiska ista. Usled ovog fenomena dešava se da dva različita zvuka sa istim zvučnim pritiskom imaju različiti nivo jačine („glasnoće“) i zato se definiše pojam A-težinskog decibela (A-level). A - težinski decibel se dobija primenom odgovarajućeg filtera koji dodaje amplifikaciju ili atenuaciju različitim frekvencijama tako da aproksimira osetljivost ljudskog slušnog aparata. Ovaj filter predstavlja aproksimaciju kompleksnog psihološkog procesa. Prilikom procene buke usled saobraćaja i uticaja na životnu sredinu najčešće se primenjuju A – težinski decibeli (A-levels).

3. INTEGRATED NOISE MODEL (INM)

Osnovni proračunski moduli ovog modela su zasnovani na dokumentima razvijenim od strane Society of Automotive Engineers (SAE) i njihovog Komiteta za vazduhoplovstvo (A-21). Članovi ovog komiteta su bili istraživački centri i instituti, projektantske firme, proizvođači vazduhoplova i avionskih motora kao i korisnici programskih paketa i modela za proračune saobraćajne buke. INM model je kompatibilan sa standardima i proračunima definisanim u dokumentima ECAC-a (European Civil Aviation Conference) Document 29 i ICAO-a (International Civil Aviation Organization).

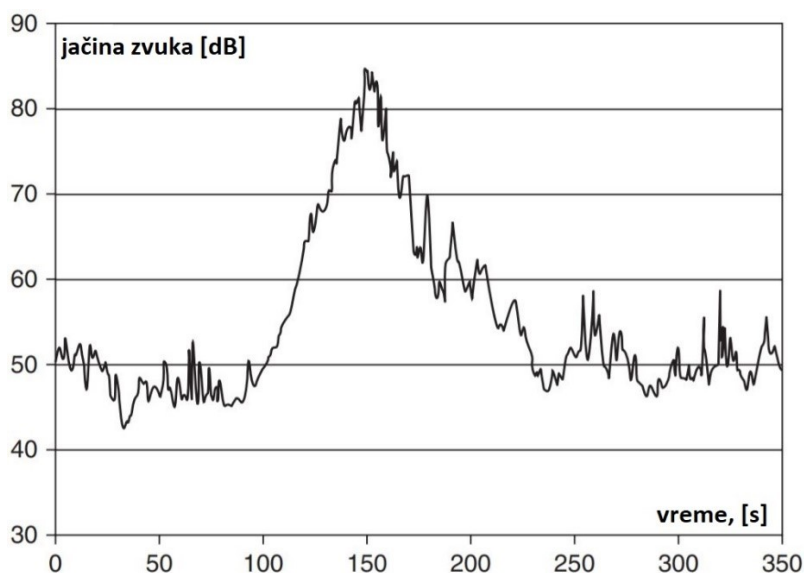
Model je kreiran da bi se koristio za procenu dugoročnih prosečnih uticaja buke koristeći prosečne godišnje ulazne parametre. Model se koristi za proračun metrika zavisnih od komponente vremena (time-based metrics) i metrika maksimalnog nivoa buke (noise-level metrics). Svaka metrika se računa koristeći mrežu tačaka (grid-point computation). Konture buke se računaju uz pomoć pravilne mreže tačaka (regular grid) ili nepravilne mreže.

Pravilna mreža tačaka prijemnika je postavljena kao pravougana mreža sa jednakim rastojanjem između čvorova mreže. Mreža može biti rotirana u odnosu na lokalni koordinatni sistem uz preduslov da se takva rotirana mreža ne korsiti za proračun kontura buke.

Nepravilna mreža se sastoji od rekurzivno izdelfene mreže tačaka sa varijabilnim rastojanjima između čvorova mreže. Nepravilne mreže mogu da se koriste samo za proračun kontura buke. Gustina tačaka mreže je u funkciji od parametra detaljnosti koji definiše korisnik modela, potrebne preciznosti proračuna i minimalne i maksimalne konture buke (cutoff levels). Preciznost kontura se povećava porastom gustine tačaka mreže. Princip proračuna rekurzivno izdelfene nepravilne mreže je isti kao kod pravilne mreže. Prilikom generisanja nepravilne mreže prvi korak je kreiranje pravilne mreže sa rastojanjem tačaka od 1 nautičke milje. Zatim se na osnovu gorepomenutih parametara vrši povećanje gustine mreže u zavisnosti od geometrije lokacije i trajektorija kretanja vazduhoplova.

4. OSNOVNE METRIKE ZA PRORAČUN BUKE HELIKOPTERA

Pored jačine zvuka i frekvencije bitna karakteristika buke koja utiče na životnu sredinu je njeno trajanje i varijacija tokom vremena. Uticaj varijacije buke u toku vremena možemo sagledati kroz poređenje buke autoputa i buke od preleta jednog vazduhoplova. Autoput koji se nalazi u blizini tačke prijemnika stvara relativno ujednačen i kontinualan nivo buke sa minimalnim varijacijama u toku vremena od par decibela. Sa druge strane prilikom preleta helikoptera nastaje veoma prepoznatljiva i prodorna buka. Nivo zvuka prilikom preleta polako se povećava u odnosu na okolnu buku, dostiže maksimum u trenutku preleta kada je helikopter najbliže u odnosu na tačku merenja i zatim se polako stišava dok se ne stopi sa okolnom bukom. Ovaj fenomen je prikazan sa slici 1.



Slika 1. Grafik jačine zvuka prilikom preleta vazduhoplova
Izvor: [L3]

Prilikom kreiranja propisa i standarda kao i poređenja buke poželjno je definisati jedinstvenu numerčku skalu. Jednostavna metrika koja opisuje jačinu zvuka jeste maksimalna jačina zvuka A-skale ($L_{A,max}$). Ova metrika se lako može izmeriti uz pomoć sonometra. Prilikom merenja očitava se samo maksimalna zabeležena vrednost. Ova metrika ne uzima u obzir trajanje buke. Neophodno je napomenuti da je ljudima priyatnije da buka duplo duže traje ako je samo 3 dB tiša [L3]. Metrika $L_{A,max}$ se odnosi na proračun buke od samo jednog događaja.

Metrika koja je najzastupljenija u svetskim propisima prilikom poređenja buke od vazduhoplova je $L_{A,EQ}$ metrika. Ova metrika je nastala usled potrebe da se kvantifikuje buka koja je nastala u toku dužeg vremenskog perioda, kao što je sat, nekoliko sati ili dan. Računa se tako što se sabira zvučna energija od svih zvučnih događaja u posmatranom vremenskom periodu i onda uniformno raspoređuje duž tog vremenskog perioda. Formula za proračun $L_{A,EQ}$ metrike je prikazana pod brojem (III).

$$L_{A,EQ} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \sum_{j=1}^M 10^{L_{AE,j}/10} \right) \quad (III)$$

Gde su:

- L_{AE} = nivo izlaganja zvuku (sound exposure level – SEL) proizveden j-tim preletom vazduhoplova
- M = broj zvučnih događaja u vremenskom periodu
- T = vremenski interval izražen u sekundama

Proračun buke započinje se definisanjem nekoliko geometrijskih parametara koji opisuju trajektoriju kretanja vazduhoplova. INM sadrži akustičke baze podataka NPD koje se koriguju sa podacima iz baze spektralnih klasa. NPD baza podataka sadrži skup od tri krive koje se koriste za proračun buke dinamičkih operacionih stanja helikoptera. Statičke operacije se modeluju primenom specijalnih NPD krivih koje se zatim koriguju primenom statičkog korekcionog faktora za usmerenost zvuka. INM sadrži skupove NPD krivih za različite tipove helikoptera i to za različita operaciona stanja (poletanje, sletanje, krstarenje, lebdenje u mestu).

Osnovni geometrijski parametri su: 1. najbliža tačka na trajektoriji kretanja helikoptera u odnosu na tačku posmatrača (observer point), i 2. udaljenje najbliže tačke na trajektoriji u odnosu na tačku posmatrača (SLR-slant range)

Osnovni parametri vazduhoplova su: 1. brzina helikoptera na odgovarajućem segmentu trajektorije, 2. visina helikoptera, 3. snaga motora, operaciono stanje helikoptera.

Nakon proračuna ovih parametara vrši se proračun svih korekcija koje se zatim dodaju proračunu metrike. U daljem delu ovog rada biće ukratko opisane korekcije helikopterske buke.

5.1 Korekcija za atmosfersku apsorpciju (AAadj)

Primenom baze spektralnih klasa omogućeno je da se izvrši korekcija usled atmosferske apsorpcije zbog efekata temperature i relativne vlažnosti vazduha. Nivo jačine zvuka koji se registruje u sredini sa nižim vrednostima vlažnosti vazduha je manji usled ove apsorpcije. Spektralne klase u INM-u su korigovane prema uslovima sredine referentnog dana primenom dokumenta SAE-AIR-1845 [L6].

5.2 Korekcija za akustičku impedansu (Aladj)

Akustička impedansa se odnosi na propagaciju zvučnih talasa u akustičkom medijumu. Definiše se kao proizvod gustine vazduha i brzine zvuka u vazduhu. U zavisnosti je od temperature, atmosferskog pritiska i visine leta helikoptera. Referentne vrednosti za korekciju su temperatura od 25 °C, pritisak od 101.32 kPa i nadmorska visina od 0 mm.

5.3 Korekcija za lateralnu usmerenost zvuka(LDadj)

Ova korekcija je specifična za proračun helikopterske buke u odnosu na ostale tipove vazduhoplova. Usmerenost zvuka helikoptera se modelira primenom tri NPD krive. Definisane su leva, centralna i desna kriva. Leva i desna kriva sadrže akustičke karakteristike sa strane do ugla od 45 stepeni. Centralna kriva sadrži podatke za proračun buke direktno ispod trajektorije kretanja vazduhoplova.

5.4 Korekcija izvora helikopterske buke(MNadj)

Data korekcija se odnosi na popravku vrednosti buke usled brzine vrha lopatice glavnog rotora helikoptera. Korekcija je u funkciji od brzine kretanja helikoptera, temperature i broja obrtaja (RPM) glavnog rotora.

5.5 Korekcija za frakciju buke segmenta(NFadj)

Proračun osnovnih elemenata metrike se zasnivaju na pretpostavci da se helikopter kreće duž pravolinijske putanje, paralelne zemlji i beskonačne dužine. Korekcija je neophodna da bi se ove vrednosti prilagodile realnim uslovima kretanja helikoptera. Zasniva se na četvorostepenom dvopolnom modelu radijacije zvuka[L4].

5.6 Korekcija za dužinu trajanja događaja (DURadj)

NPD baza podataka je definisana za referentnu brzinu od 160 čvorova. Ukoliko se vazduhoplov kreće većom brzinom od 160 čvorova korekcija za dužinu trajanja događaja se primenjuje da bi se modeliralo ubrzanje i usporenje letelice u toku vremena.

5.7 Korekcija za lateralnu atenuaciju (LAadj)

Razlika u nivou jačine zvuka direktno ispod putanje kretanja helikoptera i neke tačke koja se nalazi sa strane proizilazi usled lateralne atenuacije. Lateralna atenuacija uzima u obzir sledeće fenomene prilikom proračuna korekcije: 1. efekat refleksije talasa, 2. refrakcija talasa, 3. efekti pozicije motora. Bitno je napomenuti da se korekcija računa uvek uz pretpostavku da je zemlja idealno ravna površina čak i kada je uključen proračun primenom digitalnog modela terena.

5.8 Korekcija za usmerenost zvuka helikoptera (DIRheli_adj)

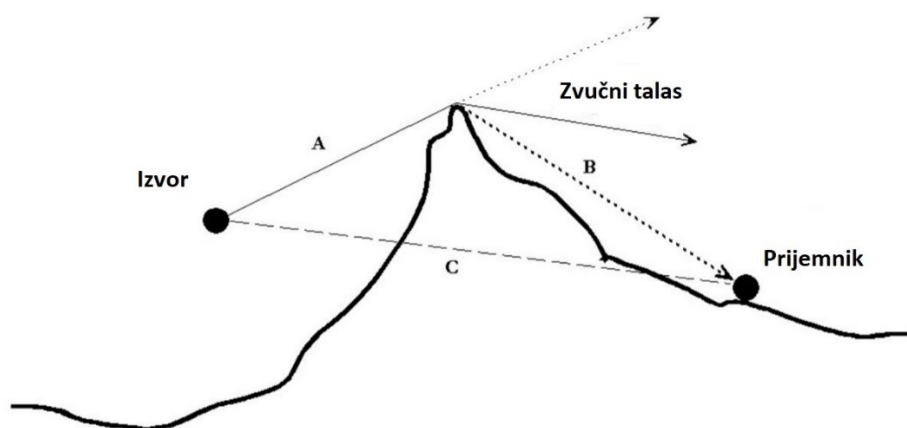
Statička korekcija usmerenosti zvuka vrši se usled promene ugla azimuta helikoptera, koji se meri u smeru kazaljke na satu počevši od nosa letelice. Ova korekcija je zasnovana na empirijskim vrednostima. Primenjuje se samo kada se helikopter nalazi u statičkim stanjima.

5.9 Korekcija za trajanje statičke operacije helikoptera (theli_static)

Helikopteri mogu da promene svoje operaciono stanje u toku leta. Naime tokom leta prateći jedan segment trajektorije helikopter može preći u statički režim rada. Usled toga vreme koje je proveo na tom segmentu nije više u funkciji brzine i dužine segmenta već zavisi i od dužine trajanja statičkog režima rada. Ova korekcija se vrši nakon svih ostalih korekcija.

5.10 Korekcija za blokiranje zvuka usled prepreka (LOSadj)

Korekcija zvuka usled prepreka definiše atenuaciju nastalu zbog topografije terena i fizičkih prepreka na terenu. Zasniva se na principu razlike u dužini puta propagacije zvučnih talasa. Naime računa se dužina direktne putanje talasa od izvora do prijemnika, a zatim dužina putanje koju talas mora da pređe da bi zaobišao prepreku i stigao do prijemnika. Grafičko pojašnjenje korekcije dato je na slici 3.



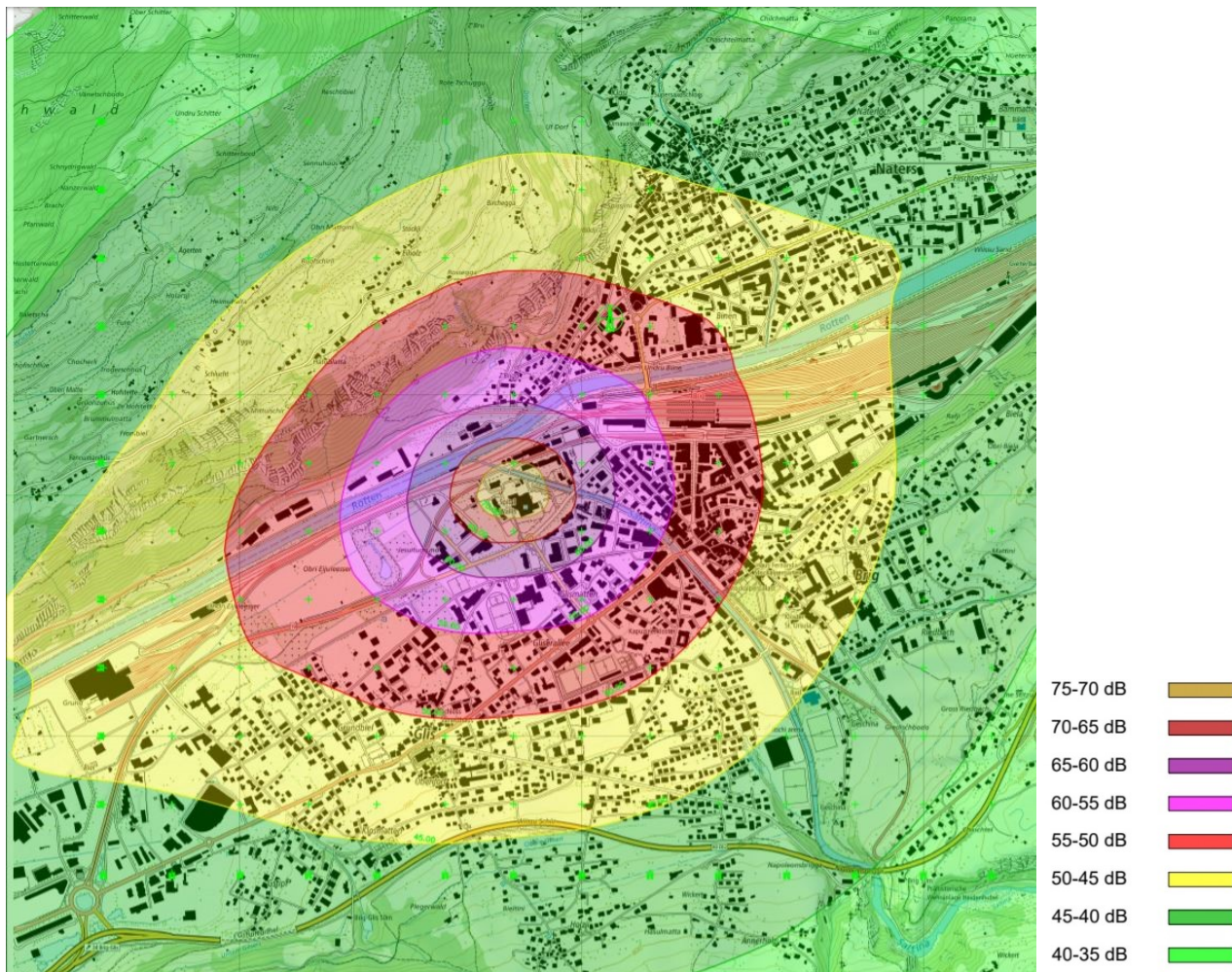
Slika 3. Grafički prikaz putanja talasa prilikom proračuna LOSadj
Izvor: [L1]

Oznaka A na slici 3. predstavlja putanju od izvora zvuka do difrakcione tačke (barijere). Oznaka B je dužina putanje talasa od difrakcione tačke do prijemnika, a oznaka C predstavlja direktnu putanju talasa ukoliko ne bi postojala barijera. Na osnovu ovih dužina računa se parametar razlike dužina putanje koji se dalje koristi za proračun Fresnelovog broja (N_0), efekta barijere i LOSadj.

6. REZULTATI PRORAČUNA

Nakon završetka proračuna kao rezultati se dobijaju tabele sa numeričkim vrednostima metrika i grafički prikaz tih tabela u obliku kontura buke. Najzastupljeniji način predstavljanja buke je uz pomoć kontura buke. Konture buke predstavljaju izolije koje spajaju mesta sa istom vrednošću odgovarajuće sračunate metrike.

Na slici 4. prikazan je standardni način predstavljanja helikopterske buke. Predmetna lokacija nalazi se u Švajcarskoj. Analiza je izvršena primenom INM modela sa odgovarajućim modifikacijama metrike kako bi bile u skladu sa lokalnim propisima o dozvoljenom nivou buke.



Slika 4. Grafički prikaz kontura buke za heliport u Švajcarskoj
Izvor: BaTT GmbH

7. ZAKLJUČAK

Na osnovu izloženog u radu može se doći do sledećih zaključaka. Glavne prednosti ovog modela proračuna i programskog paketa koji koristi ovaj model su:

1. INM čini izuzetno kompleksan i sveobuhvatan model proračuna helikopterske buke zasnovan na pretpostavkama koje su testirane i potvrđene na terenu
2. Zasnovan je na osnovu istraživanja eminentnih institucija i svetski priznatih propisa i standarda iz oblasti analize buke vazduhoplova
3. NPD baza podataka ovog modela sadrži veliki broj tipova helikoptera u odnosu na konkurentske modele

Neke od mana ovog modela uočene od strane autora ovog rada su:

1. Neophodno je razviti algoritam proračuna efekata akustički "tvrdih" podloga kao što su stenske mase. Trenutni model sadrži samo jedinstveni tip terena koji je akustički "meka" podloga.
2. INM nije detaljan akustički model. Mogu nastati znatne razlike između izmerenih vrednosti u realnim uslovima i sračunatih u modelu. Ova neslaganja nastaju usled raznih uprošćenja koja su usvojena u modelu da bi pojednostavio sam proračun koji je kompleksan.
3. Nemogućnost upotrebe detaljnih digitalnih modela terena. INM model i programski paket koji ga sadrži ograničen je na upotrebu digitalnih modela terena male tačnosti.
4. Nemogućnost proračuna kontura buke u zonama visokih zgrada upotrebom analize blokiranja zvučnih talasa objektima.
5. Zastareli grafički korisnički interfejs i princip rada samog programskog paketa.

Literatura

- [1] Boeker, E.; Dinges, E.; He, B.; Fleming, G.; Roof, C.; Gerbi, P.; Rapoza, A.; Hemann, J. 2008. *Integrated Noise Model (INM) Version 7.0 Technical Manual*. FAA. USA. 210 p.
- [2] He, B.; Dinges, E.; Hemann, J.; Rickel; Mirsky; Roof, C.; Boeker, E.; Gerbi, P.; Senzig. 2007. *Integrated Noise Model (INM) Version 7.0 User's Guide*. FAA. USA. 446 p.
- [3] Horonjeff, R.; McKelvey, F.; Sproule, W.; Young, S. 2010. *Planning and Design of Airports*, The McGraw-Hill Companies, Inc. USA. 689 p.
- [4] Kurzweil, L. 1987. *Computation of Fraction (F12) of Data-Base Noise Level Represented by a Finite Length Flight Segment*, INM Technical Overview and Work Plan, Cambridge, MA: Transportation Systems Center
- [5] European Civil Aviation Conference (ECAC). 2005. *Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports*. Doc 29 (3rd Edition)
- [6] SAE. 2012. *Procedure for the calculation of airplane noise in the vicinity of airports air1845a*. SAE International. 84 p.