

Analiza ambijentalne buke u stanovima

Miodrag Stanojević, Miomir Mijić

Apstrakt— Osnovna dimenzija zvučnog komfora u stambenim zgradama je zvučna privatnost stanara, što na elementarnom nivou podrazumeva da se komšije ne čuju međusobno. Takav zahtev je vodio ka uvođenju minimalnih zahteva za zvučnu izolaciju između stanova. Međutim, stanje privatnosti nije samo pitanje nivoa postignute izolacije. U literaturi je pokazano da je privatnost funkcija dva parametra: stanja zvučne izolacije i nivoa ambijentalne buke u prostorijama. U tom smislu definisan je parametar za procenu stanja privatnosti kao numerički zbir te dve veličine. U novije vreme promene u građevinarstvu, uglavnom nastale zahevima energetske efikasnosti zgrada, proizvele su kao prateći efekat stanje ekstremne tišine u stanovima, a da istovremeno minimalni zahtevi zvučne izolacije nisu prilagođeni toj činjenici. Zbog toga su česte pritužbe stanara novih zgrada na nedovoljnu zvučnu izolaciju, a problem je u drugom parametru od značaja za privatnost – vrlo niskom nivou ambijentalne buke. U dosadašnjoj literaturi nema adekvatnih podataka o tome, pa su u ovom radu prikazani rezultati istraživanja buke kao faktora koji određuje privatnost u zgradama. Konstatovano je relativno rasprostranjeno stanje nivoa ambijentalne buke ispod 20 dB(A) i kako takvo stanje utiče na čujnost govora „s druge strane zida“.

Ključne reči — ambijentalna buka, boravišne prostorije, merenje buke, privatnost, zvučna izolacija

I. UVOD

U projektovanju stambenih zgrada jedan od zadataka je obezbeđenje privatnosti stanara. Proces projektovanja zgrada uobičajeno to tretira indirektno, kroz izbor pregradnih konstrukcija (zidova, tavanica, vrata, prozora) i njihove izolacione moći R , uz nedovoljno jasne stavove o tome šta bi bila adekvatna vrednost. Regulativa na koju se projektanti uobičajeno naslanjaju definiše samo minimalne vrednosti R koje na pojedinim pozicijama u zgradi moraju biti premašene [1]. Zbog toga svaka projektantska analiza počinje i završava se procenivanjem da li je zadovoljena ta minimalno potrebne vrednosti za pregrade u zgradi, uglavnom bez šireg razmatranja konteksta u kome će se te pregrade nalaziti. Međutim, slabljenje zvukova iz okruženja izolacionim svojstvima pregrada samo je jedan aspekt u obezbeđivanju privatnosti stanarima. Drugi, podjednako značajan aspekt je poznavanje stanja ambijentalne buke u prostorima gde treba obezbediti privatnost, a što je uslovljeno brojnim faktorima.

Zanimljivo je da se u savremenoj praksi akustičkih konsultanata pojavljuju žalbe korisnika zgrada i traži se predlog za sanaciju postojećih prostora, stambenih i poslovnih. Uobičajeno se nakon useljenja u zgradu otkrivaju

smetnje zbog nevoljnog praćenja razgovora iz okruženja. Zahtevi za rešavanjem takvih problema učinili su da je, na primer, u projektovanju poslovnih zgrada zaštita privatnosti postala izuzetno važan aspekt. Razlog je u činjenici da nevoljno praćenje tuđih razgovora ometa u koncentraciji pri radu. Zanimljivo je da se za takve inženjerske zadatke vremenom izdiferencirala jedna posebna multidisciplinarna oblast koja se bavi načinima i sredstvima za obezbeđenje privatnosti, koja po potrebi uključuje i pomoć elektroakustičkih sredstava.

Fizičko objašnjenje okolnosti u kojim se dolazi do ugrožavanja privatnosti i ometanja govorom zasniva se na osnovnim principima telekomunikacija. U njima je obrađena tema detektabilnosti signala, što podrazumeva njegovu prepoznatljivost i rekonstrukciju na prijemu. Poznato je da tu mogućnost određuje odnos signal/šum na mestu prijema. Isti koncept važi i u govornim komunikacijama koje se odvijaju u akustičkom domenu, to jest u osnovnom frekventijskom opsegu govornog signala i sa prijemom pomoću čula sluha. Kvalitet percepcije govora, njegova prepoznatljivost i razumljivost, zavisi od odnosa signal/šum na mestu gde se nalazi slušalac. Pod signalom se podrazumeva akustički govorni signal sa svim njegovim dinamičkim specifičnostima, a šum je ambijentalna buka koja postoji u okruženju slušaoca i istovremeno sa govorom deluje na njegovo čulo sluha. Prepoznavanje i razumevanje govora nastaje kroz proces diskriminacije govornog signala iz šuma, to jest buke. Razlika u odnosu na telekomunikacije je u činjenici da je sposobnost “izvlačenja” govornog signala iz šuma determinisana mogućnostima čula sluha, i ne može se poboljšavati.

Prema tome, ambijent u kome se sluša govor predstavlja faktor koji određuje njegovu razumljivost, a time i osećaj privatnosti [2,3,4,5]. Zbog dinamičkih karakteristika signala govora odnos signal/šum u njemu kompleksna je veličina promenljiva u vremenu o kojoj se može govoriti samo statistički. U prvoj aproksimaciji problem se može posmatrati preko ekvivalentnih vrednosti nivoa zvučnog pritiska, što znači s vrednostima koje se dobijaju dovoljno dugim vremenskim usrednjavanjem. Pokazano je da govor postaje nerazumljiv kada srednja vrednost odnosa signal/šum po opsezima 1/3 oktave približno opadne ispod ± 2 dB. Pri tome se taj odnos posmatra u frekventijskom opsegu od značaja za govor, za koji je definisan raspon od 160 Hz do 5 kHz.

II. KVANTIFIKOVANJE PRIVATNOSTI

U literaturi su opisana neka rešenja za kvantifikovanje stanja privatnosti govora koja uzimaju u obzir odnos signal/šum na mestu slušanja. U američkom standardu ASTM E2638 [6], prikazan je postupak zasnovan na pomenutim radovima Bredlija i saradnika. Standard definiše parametar nazvan *Speech Privacy Class* (SPC). To je kvantitativna mera stanja privatnosti govora iz prostorije sa aspekta potencijalnog

Miodrag Stanojević, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: miodrag.stanojevic@bitprojekt.co.rs),

Miomir Mijić, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, (e-mail: emijic@etf.rs)

slušaoca koji se nalazi izvan nje. Parametar SPC je u standardu definisan kao mera bezbednosti i poverljivosti govora u salama za sastanke. Iako s takvom originalnom namenom, on se može primeniti za ocene i u drugim okolnostima, kao što su stambene zgrade i stanje privatnosti između stanova.

Vrednost SPC je prema tom standardu definisana kao zbir numeričkih vrednosti dva faktora koji određuju prepoznatljivost i razumljivost govora između susjednih prostorija. To su: nenormalizovana zvučna izolovanost D između njih i nivoa buke L_b u tački gde se može nalaziti potencijalni slušalac:

$$SPC = D + L_b. \quad 1$$

Prvi član u ovom izrazu, neponderisana izolovanost D definisana kao srednja vrednost izolovanosti po opsezima 1/3 oktave u frekvencijskom opsegu od značaja za govor. Ovako definisana izolovanost pokazuje stanje zvučne izolacije, ali indirektno i nivo govornog signala. Prethodno pomenuta istraživanja nivoa zvuka govora u salama za sastanke i u stanovima pokazala su statističke osobine govornog signala i granice u kojim se kreću. To je omogućilo da se u nalaženju odnosa signal/šum pri slušanju govora iz susedne prostorije nivo govornog signala posmatra kroz vrednost izolovanosti D . Zbog njegove dinamike u okviru dužeg govora, ali i dinamike unutar svake rečenice, nivo govora mora se posmatrati samo statistički preko dugovremene efektivne vrednosti ili na primer preko statističkih pokazatelja L_1 , L_{10} ili slično. Ali, to ne poništava informativnost koncepta sa parametrom SPC kao indikatorom stanja privatnosti.

Drugi član, nivo ambijentalne buke, kvantifikuje efekat maskiranja zvukovima iz okruženja. Vrednost L_b je srednja vrednost izračunata po opsezima 1/3 oktave u frekvencijskom opsegu od značaja za govor. Sabrane, ove dve veličine pokazuju ukupni efekat na stanje privatnosti govora. Što je veća vrednost SPC, manji je odnos signal/šum na mestu slušanja, što znači da je govorni signal u većoj meri maskiran lokalnom bukom.

U radu Bredlija [2], kao i u prilogu standarda ASTM E2638 [6] opisana su očekivana stanja privatnosti govora za različite vrednosti parametra SPC. Pokazano je da tek za vrednosti SPC preko 80 privatnost postaje relativno zadovoljavajuća. Iz tog opisa proizilaze i neki važni zaključci o potrebnim vrednostima građevinske izolacione moći u stambenim zgradama s kojim se obezbeđuje potpuna privatnost. Na primer, pri nivou ambijentalne buke oko 20 dB(A) u boravišnim prostorijama stana za potpunu privatnost govora neophodno je obezbediti prema susedima vrednost zvučnu izolovanost D minimalno 60 dB. Međutim, minimalna vrednost izolacione moći R_w pregrada između stanova, koja se decenijama usvaja u projektovanju stambenih zgrada, je samo 52 dB. Ta vrednost je zapisana u normativu koji se najšire koristi [1], i očigledno je značajno ispod vrednosti koja garantuje privatnost.

U delu sveta gde se primenjuje ISO standardizacija utvrđivanje fizičkih faktora koji imaju uticaja na zvučni komfor zasnovano je na merenju građevinske izolacione moći prema standardu ISO 16283-1 [7], i ekvivalentnog nivoa

ambijentalne buke L_{Aeq} izraženog u dBA prema standardu ISO 1996-1 [8]. Rezultat merenja zvučne izolacije iskazuje se merodavnom vrednošću izolacione moći R'_w . Ona se izračunava prema standardu ISO 717-1 [9]. Da bi se ocena privatnosti u zgradama izvela iz rezultata merenja prema ISO standardima koji se primenjuju u Evropi, u literaturi je predložena jedna modifikacija definicije SPC [10,11]. Predložen je ISO ekvivalent parametru SPC koji je nazvan Indeks privatnosti govora (IPG). On je definisan kao:

$$IPG = R'_w + L_{A,eq}. \quad 2$$

Vrednosti R'_w su na raspolaganju kao rezultat uobičajenih testiranja zgrade prilikom tehničkog prijema, a vrednošću L_{Aeq} izražavaju se svi rezultat merenja ambijentalne buke prema regulativi u evropskim državama. Pokazano je da vrednosti IPG sa dovoljnom tačnošću estimira vrednost SPC. To znači da se IPG može koristiti za ocenu stanja privatnosti govora između prostorija koristeći standardne pokazatelje definisane ISO standardima koji se rutinski mere, u istom smislu kao ranije definisan parametar SPC.

Značaj nivoa ambijentalne buke u zaštiti privatnosti još ranije je prepoznat u standardnim postupcima za kvantifikovanje stanja privatnosti u *open-space* kancelarijama. U standardu koji definiše relevantne parametre za ocenu kvaliteta ovih specifičnih prostora predviđeno je, između ostalog, i merenje ekvivalentnog nivoa ambijentalne buke [12]. U proceduri koja je u tom standardu opisana uticaj buke se posmatra posredno, i to kroz opadanje vrednosti indeksa prenosa govora sa rastojanjem. Utvrđuje se rastojanje od govornika na kome se njegov govorni signal „utapa“ u postojeću ambijentalnu buku i time praktično nestaje njegova razumljivost za slušaoca. Za kontrolu tog rastojanja u nekim poslovnim prostorijama se koriste pomoćna sredstva za podešavanje nivoa ambijentalne buke koji se nazivaju sistemi za maskiranje zvukom (*Sound Masking System*). To su elektroakustički sistemi koji emituju spektralno uobličeni šum nivoa podešenog prema zadatim okolnostima u ambijentu.

Analiza stanja nivoa buke u stambenim zgradama i korelisanje takvih podataka sa stanje zvučne izolacije nije do sada bila tema u literaturi, pa je organizovano namensko istraživanje. Analizirano je stanje buke u okolnostima koje su potencijalno od značaja za ugrožavanje privatnosti, a to su period noći i okolnosti kada su u potencijalno ugroženim prostorijama isključeni svi lokalni izvori zvuka koji bi ometali čujnost zvukova iz okruženja. Postupak i rezultati takvog istraživanja prikazani su u nastavku.

III. POSTUPAK ANALIZE AMBIJENTALNE BUKE

Istraživanje stanja ambijentalne buke u stanovima imalo je dva pravca rada. Prvi je bio traganje za postojećim podacima o nivou buke koji su generisani kao prateće informacije u sklopu podataka dobijenih merenjem zvučne izolacije u zgradama. Naime, prilikom takvih merenja čini se napor da u prostorijama koje su obuhvaćene mernom procedurom svi drugi zvučni izvori u prostorijama budu isključeni kako ne bi ugrozili tačnost merenja. Podaci dobijeni u takvim okolnostima potencijalno su relevantni za ovo istraživanje. Drugi pravac je obuhvatio namenska merenja u stanovima

organizovana za potrebe ovog istraživanja, pre svega u novoizgrađenim stambenim zgradama.

Procedura merenja zvučne izolacije u zgradama podrazumeva, između ostalog, i uzimanje mernih podataka o stanju ambijentalne buke u prijemnoj prostoriji koji ostaju zapisani u rezultatima merenja. Cilj toga prilikom merenja je kontrola stanja mernog signala u odnosu na ometajuće zvukove koji mogu postojati na lokaciji i minimizacija njihovog uticaja. U arhivi Laboratorije za akustiku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu godinama su prikupljeni rezultati takvih merenja. Iz raspoloživih datoteka preuzeti su podaci o zabeleženom nivou ambijentalne buke u prijemnim prostorijama. Oni su dobijeni merenjima po relevantnom standardu [7] i definišu izmerene nivoe buke po frekvencijama 1/3 oktave od 50 Hz do 5000 Hz.

Sva merenja zvučne izolacije rađena su u novim zgradama ubrzo nakon završetka gradnje, ali takođe i u prvih par godina njihove eksploatacije. Takva merenja su rađena po posebnim zahtevima korisnika nakon žalbi na neadekvatan zvučni komfor. Sve takve žalbe su artikulirane kao sumnja na postignutu vrednost izolacione moći pregradnih građevinskih sklopova. Merenja buke su izvršena u sredini prostorije, pri zatvorenim prozorima i vratima, i sa isključenim izvorima zvuka čija je kontrola bila dostupna u testiranim stanovima.

Podaci dobijeni iz rezultata merenja zvučne izolacije ne obuhvataju sve okolnosti značajne za ocenu stanja privatnosti, jer se takva ispitivanja u zgradama vrše isključivo u periodu dana, najčešće tokom prepodneva. Osim toga, postupak merenja zvučne izolacije ima do izvesne mere imunitet u odnosu na ometajuće zvukove iz zgrade zahvaljujući visokom nivou mernog signala koji se reprodukuje. Zbog toga je moguće da neki od zapisa ambijentalne buke načinjenih u takvim okolnostima ne odražavaju na pravi način stanje relevantno za ocenu privatnosti. To je bio motiv da se za potrebe ovog rada organizuju namenska merenja ambijentalne buke u stanovima. Merenja su sprovedena u svemu prema standardu koji reguliše takav postupak [8]. Njihov cilj je bio da se dopuni baza sa podacima koji će obezbediti statističku regularnost, a takođe da se obuhvate i sve specifične okolnosti značajne za ocenu privatnosti. To je pre svega period večeri i noći kada je osetljivost ljudi na nedostatke zvučnog komfora najveća i kada je koncentracija ljudi u stambenim zgradama najveća.

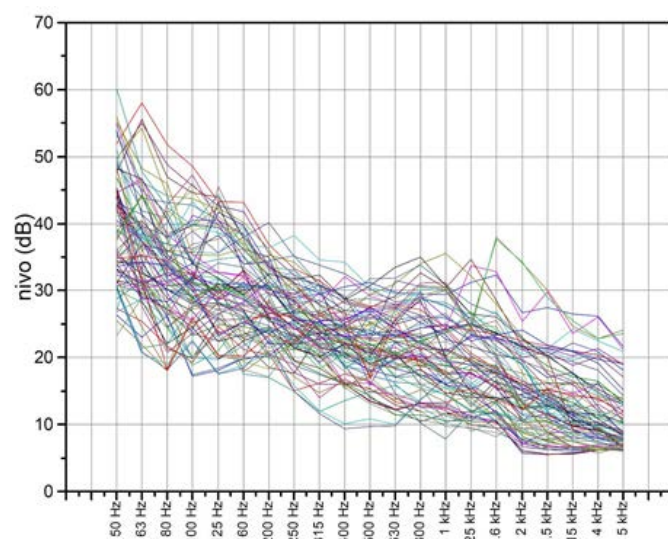
IV. REZULTATI MERENJA

Svi rezultati merenja nivoa buke u boravišnim prostorijama stanova prikupljeni u okviru ovog rada prikazani su zbirno na slici 1 svojim spektrima po opsezima 1/3 oktave u proširenom opsegu frekvencija od 50 Hz do 5 kHz. Za analizu je ukupno prikupljeno 112 rezultata merenja ambijentalne buke i svi su prikazani na dijagramu.

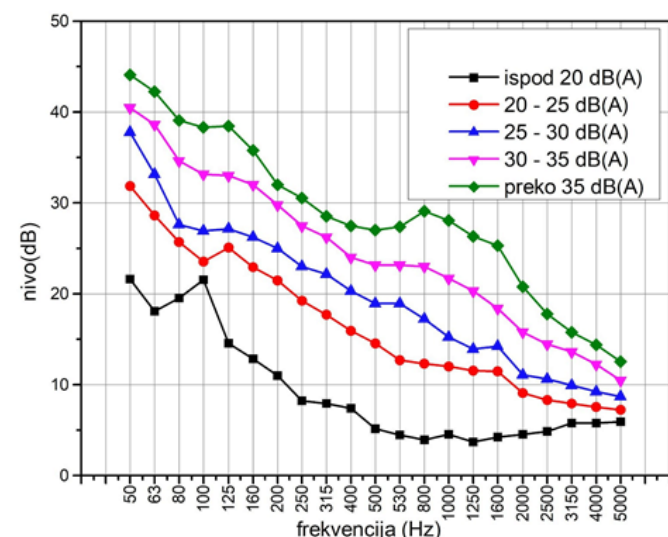
Krive sa slike 1 pokazuju opseg vrednosti i kome se kreću pojedinačni rezultati merenja. U svim rezultatima vidljiv je opšti trend opadanja nivoa sa frekvencijom, što je očekivana karakteristika ambijentalne buke, s obzirom da je to odlika slabljenja pri prolasku zvuka iz susednih prostorija kroz građevinske pregrade, a takođe je to odlika uticaja disipacije za zvuk dalekih izvora iz šireg okruženja. Na srednjim frekvencijama pojedinačni rezultati merenja nalaze se u

rasponu od približno 20 dB, dok je na najnižim frekvencijama, u prvih nekoliko opsega počevši od 50 Hz, taj raspon nešto veći, do 30 dB.

Na skupu svih prikazanih rezultata moguće je uvesti izvesnu klasifikaciju u kategorije po izmerenim nivoima zvuka. Svaka takva klasifikacija neminovno sadrži element proizvodnosti, odnosno bazira se na nekom stavu istraživača koji to radi jer se sa slike 1 vidi da ne postoje jasno prepoznatljive grupe i uočljive prirodne granice između njihovih vrednosti. U takvim okolnostima je za potrebe ovog rada uvedeno grupisanje rezultata na osnovu jednobrojnih vrednosti $L_{A,eq}$. Izmerene vrednosti su podeljene po opsezima širine 5 dB. Na raspoloživom skupu izmerenih vrednosti nivoa buke podela je realizovana u rasponu nivoa od 20 dB(A) do 35 dB(A). Posebno su izdvojene grupe u kojim su rezultati sa vrednostima manjim od 20 dB(A), odnosno iznad 35 dB(A).



Sl. 1. Prikaz spektra svih izmerenih stanja ambijentalne buke u boravišnim prostorijama stanova, predstavljenih po opsezima 1/3 oktave.

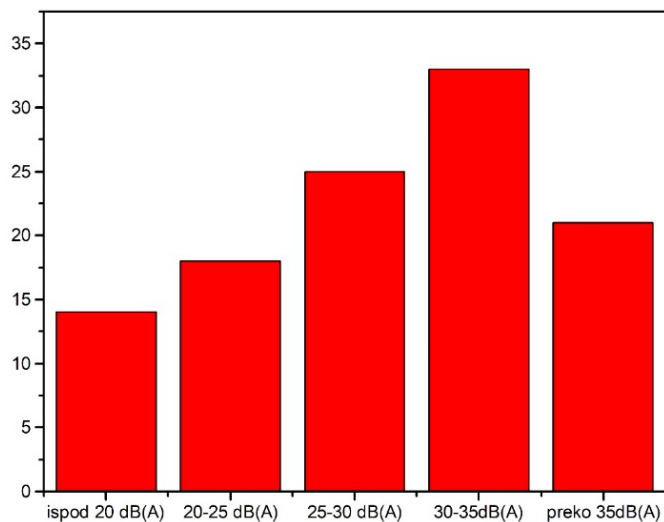


Sl. 2. Prikaz izmerenih spektara ambijentalne buke u boravišnim prostorijama stanova po definisanim grupama naznačenim u legendi dijagrama.

Nakon takve podele po grupama, za svaku grupu izračunate su srednje vrednosti po opsezima 1/3 oktave. Rezultat je prikazan na slici 2. Oblik dijagrama sa slike pokazuje da na nekim od njih postoje manja odstupanja od trenda monotonog opadanja, očekivanog za ambijentalnu buku koja nastaje delovanjem mnoštva nezavisnih zvučnih izvora. Takva pojava odstupanja može se objasniti efektima rada nekih izvora specifične buke koji su se „oglašavali“ u okviru intervala merenja, koji su pri tome bili van kontrole osobe koja meri (zvuk kočenja automobila, sirena negde u daljini i slično). Takvi stohastički pojavljivani zvukovi mogli su podizati izmerene vrednosti nivoa u ograničenom opsegu frekvencija i tako poremetiti očekivanu monotnost usrednjenog spektra buke. Sa dijagrama se vidi da takva pojava postoji u kategoriji izmerenih vrednosti ispod 20 dB(A), gde postoji porast u opsegu 1/3 oktave na 100 Hz. To se možda može objasniti brujanjem nekih uređaja koji se napajaju iz elektroenergetske mreže, a koji zbog svog izuzetno niskog nivoa nisu mogli biti detektovani čulom sluha prilikom merenja.

Merenje tako niskih vrednosti nivoa zvuka je inače bremenito raznim uticajima koje treba pratiti i po mogućnosti eliminisati. Dovoljno je navesti činjenicu da pri merenju nivoa zvuka ispod 20 dB(A) operater koji sprovodi merenja mora da zaustavi disanje jer je zvuk koji pri tome nastaje ima viši nivo od merene ambijentalne buke. Porast spektralnog nivoa postoji i u kategoriji preko 35 dB(A), gde se javlja izraženi porast na srednjim frekvencijama (od 800 Hz do 1600 Hz).

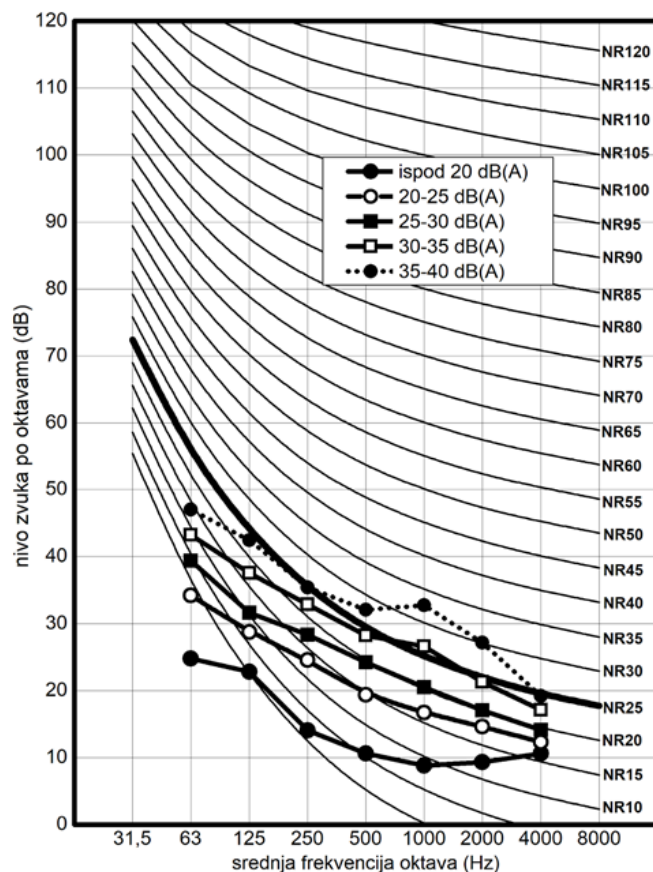
Dijagram koji pokazuje broj merenja, to jest broj testiranih stanova, po apriorno definisanim grupama širine 5 dB prikazan je na slici 3. Vidi se da su u 32 slučaja merenja ambijentalne buke (oko 27%) izmerene vrednosti ispod 25 dB(A), a čak 14 rezultata (oko 12%) je pokazalo da je nivo ambijentalne buke u sobama stanova ispod 20 dB(A). Najniža izmerena vrednost u sobi nekog stana bila je oko 15 dB(A).



Slika 3 - Prikaz broja merenja, to jest broja testiranih boravišnih prostorija u stanovima, po definisanim opsezima izmerenog nivoa buke širine 5 dB

Usrednjeni spektri po kategorijama sa slike 2 predstavljeni po opsezima 1/3 oktave preračunati su u oktavne spektre da bi se mogli porediti sa uobičajenim kriterijumima za ocenu stanja buke u životnoj sredini. Rezultat je prikazan na slici 4. Spekti su ucrtani u standardni dijagram NR kriterijuma.

Posebno je debljom linijom označen kriterijum NR25 koji predstavlja najvišu dopušteni vrednost nivoa ambijentalne buke u boravišnim prostorijama stanova noću, koja je 30 dB(A). Vidi se da su čak tri definisane kategorije izmerenog spektra ambijentalne buke za više od 5 dB ispod ovog kriterijuma. Svi rezultati koji premašuju kriterijum NR25 potiču od rezultata merenja zvučne izolacije, što znači da su zabeleženi tokom dana. Čak i oni su sa relativno niskim vrednostima nivoa, što znači i da tokom dana u ambijentu stanova postoji značajna tišina.



Slika 4 - Oktavni prikaz usrednjenih spektara ambijentalne buke po kategorijama, ucrtanih na dijagramu NR kriterijuma; debljom linijom je ucrtana kriva NR25 koja predstavlja maksimalno dopuštenu vrednost nivoa buke u boravišnim prostorijama stanova tokom perioda noći

V. DISKUSIJA

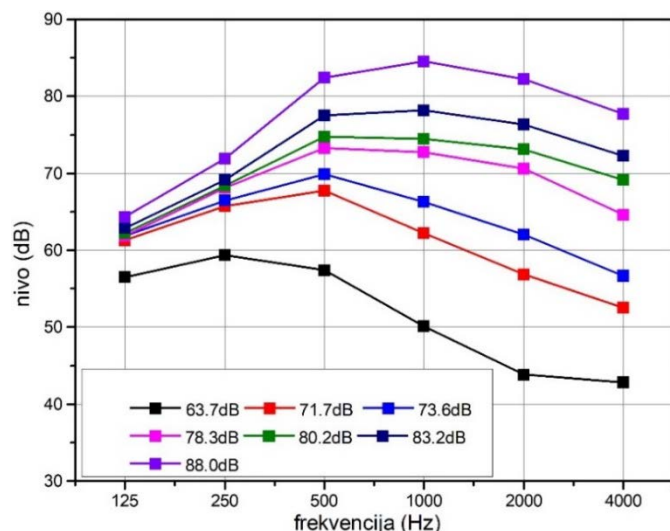
Iz prikazanih rezultata proizilazi nekoliko zaključaka značajnih za temu privatnosti u stanovima.

1. Nivo ambijentalne buke u boravišnim prostorijama stanova niži je od maksimalno dozvoljene vrednosti koja je za period noći 30 dB(A). Dobijeni rezultati su u 27% merenja ispod 25 dB(A), a čak u 12% merenja izmerena je vrednost ispod 20 dB(A). Takvo stanje se može smatrati „ekstremnom tišinom“. To su okolnosti u kojima se pri merenju buke na neki način mora isključiti i šum koji prirodno stvara operater (njegovo disanje, svaki njegov fizički kontakt rukama sa mernim instrumentom i slično).

2. Uslovi „ekstremne tišine“ sa nivoom ambijentalne buke ispod 20 dB(A) otkriveni su u novim zgradama. U njima je zbog zahteva energetske efikasnosti kao prateći efekat

postignuta izuzetno dobra zvučna izolovanost od spoljašnje sredine. Dvoslojni i troslojni paketi debelog stakla na fasadnim otvorima (prozori, balkonska vrata) mogu imati ukupnu debljinu 3-5 cm. Takva struktura ima i izuzetno veliku izolacionu moć koja je kao posledicu proizvela dobijenu odličnu izolovanost od spoljašnje buke.

3. Ekstremna tišina u boravišnim prostorijama ugrozila je privatnost ljudi u zgradama jer omogućava da se pod određenim uslovima može čuti govor i drugi zvukovi iz susednih stanova, ali iz malo šireg okruženja. Ovaj aspekt je ulustrovan jedni numeričkim primerom koristeći podatke iz literature. Na slici 5 prikazan je oktavni spektar govora koji se postiže pri različitim nivoima glasnosti izgovora, preuzet iz literature [13].



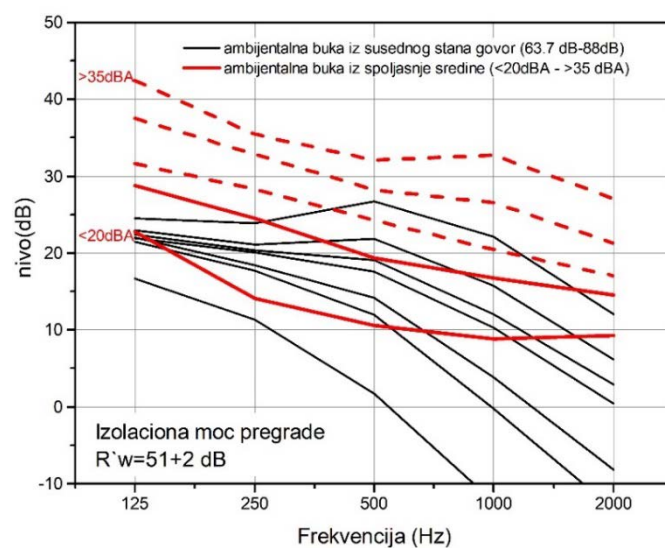
Slika 5 – Nivo govornog signala pri različitim nivoima glasnosti izgovora [13]

Ekspiriment opisan u literaturi podrazumevao je da jedna ženska osoba čita isti tekst sa različitom jačinom glasa. Sa dijagrama se vidi da je pri tome ekvivalentni nivo proizvedenog zvuka varirao u rasponu od 64 dB do 88 dB. Dijagram takođe pokazuje da se s promenom jačine govora menja i njegov spektralni sastav, jer dolazi do relativnog izdizanja nivoa na višim frekvencijama pro pojačavanju intenziteta glasa.

4. Na osnovu ovih podataka o spektru glasa izvršen je proračun nivoa zvuka kada zvuk govora prođe kroz neki pregradni zid u prostoriju susednog stana. Pretpostavljena je standardna konfiguracija prostorija koje deli pregradni zid veličine 10 m² izgrađen od betona debljine 16 cm. Takav zid u zgradama uobičajeno ima merodavnu građevinsku izolacionu moć oko $R'_w=53$ dB, što zadovoljava minimalne zahteve zvučne izolacije iz normativa koji se danas koristi u Srbiji pri projektovanju stambenih zgrada [1]. Oblik frekventijske zavisnosti izolacione moći takvog zida preuzet je iz literature. Takođe je u prijemnoj prostoriji pretpostavljena referentna apsorpcija 10 m². Sa takvim pretpostavkama proračunat je očekivani nivo glasa koja dospeva iz susednog stana za različite jačine govora. Kao parametar za poređenje uzeti su spektri pet kategorija ambijentalne buke, prikazanih na slici 4. Dobijeni rezultati prikazani su na slici 6.

Sa slike se vidi da za najniži nivo ambijentalne buke u prostoriji govor iz susedne prostorije pri izolacionoj moći

pregradnog zida 52 dB u širem spektralnom opsegu premašuju nivo ambijentalne buke. To znači da će u takvim uslovima govor sasvim sigurno biti primetan i verovatno razumljiv. Kako raste nivo ambijentalne buke tako je sve veći deo spektra govornog signala iz susedne prostorije maskiran ambijentalnom bukom, ali pri najvišim nivoima ostaje i dalje primetan. Tek pri najvišim izmerenim nivoima ambijentalne buke u prostoriji, što odgovara nekim dnevnim situacijama u bučnijim delovima grada, govor iz susedstva postaje neprimetan. Na osnovu rezultata sa slike 6 može se zaključiti da sa najnižim registrovanim nivoima ambijentalne buke u prostorijama standardne minimalne vrednosti izolacionih moći pregradnih konstrukcija od $R=52$ dB ne zadovoljavaju zahteve zvučnog komfora, odnosno zaštite privatnosti.



Slika 6 – Nivoi ambijentalne buke iz susedne prostorije koja potiče od govora različitog nivoa u odnosu na različite moguće nivoe ambijentalne buke sa slike 4, za slučaj pregrade između prostorija od armiranog betona debljine 16 cm, $R'_w = 53$ dB

5. Prikazani rezultati nameću potrebu preispitivanja važećih kriterijuma za građevinsku izolacionu moć pregradnih konstrukcija između stanova. Propisana minimalna vrednost građevinske izolacione moći pregrade između dva stana je 52 dB, i u najvećem broju slučajeva projektanti zgrada to usvajaju kao kriterijum pri projektovanju. Ona je svojevremeno utvrđena najverovatnije na temelju očekivanog nivoa buke u stanovima 30 dB(A) za period noći. Takva kombinacija daje vrednosti IPG preko 80 dB, pri kojoj se prema podaci iz literature obezbeđuje zadovoljavajuća privatnost.

Međutim, sa nivoima ambijentalne buke u boravišnim prostorijama ispod 20 dB(A) i istom vrednošću izolacione moći, parametar IPG će imati vrednost samo oko 70 dB, što je prema podacima iz literature nedovoljno za privatnost. Prema klasifikaciji iz literature okolnosti u kojim je $IPG \leq 70$ dB ukazuju na očekivano dobru čujnost komšijskih aktivnosti [6]. To je definisano opisom: „zvuk govora često čujan, kratke izgovorene fraze su ređe razumljive”. Prema tome, minimalno zahtevana vrednost izolacione moći pregrada između susednih stanova i između stanova i zajedničkih prostora od 52 dB, što se danas usvaja u najvećem broju projekata kao kriterijum, nije dovoljna za obezbeđenje privatnosti.

VI. ZAKLJUČAK

Rezultati prikazani u ovom radu pokazuju da nivo ambijentalne buke u boravišnim prostorijama stanova ima isti značaj za osećaj privatnosti stanara kao i izolaciona moć građevinskih pregrada. Zbog toga inženjerske analize zvučnog komfora pri projektovanju stambenih zgrada moraju uzeti u obzir oba parametra. U sprovedenim analizama pokazalo se da su žalbe stanara na stanje zvučne izolacije nakon useljenja u stanove u najvećem broju slučajeva bile posledice „prekomerne“ tišine.

Dobijeni rezultati merenja ambijentalne buke u stanovima otvaraju više tema za dalje straživanje. To su na primer:

- analiza putanja prolaska zvuka iz spoljašnje sredine u boravišne prostorije da bi se u fazi projektovanja omogućila predikcija stanja buke,
- predikcija nivoa ambijentalne buke u boravišnim prostorijama stanova u zavisnosti od zadate lokacije projektovane zgrade,
- izrada uporednih tabela za staklo-pakete koji se danas koriste za fasadne prozore u kojim bi se za svaki od njih prikazala i najverovatnija vrednost ambijentalne buke u prostorijama.

Može se zaključiti da zvučni ambijent u okruženju boravišnih prostorija stanova, to jest u spoljašnjoj sredini koja je od soba odvojena fasadom i u susednim stanovima koji su od soba odvojeni pregradnim konstrukcijama, predstavlja kompleksan faktor koji određuju osećaj privatnosti kod stanara.

LITERATURA

- [1] SRPS U.J6.201, "Akustika u zgradarstvu – Tehnički uslovi za projektovanje i građenje zgrada"
- [2] B. N. Gover and J. S. Bradley, "Measures for assessing architectural speech security privacy of closed offices and meeting rooms," The Journal of the Acoustical Society of America, Vol 116, 3480–3490 (2004)
- [3] J. Bradley, B. Gover, "Speech Privacy Class For Rating the Speech Privacy of Meeting Rooms", Canadian Acoustics, Vol. 36 No. 3, 22-23. (2008)
- [4] J. Bradley, B. Gover, "Speech levels in meeting rooms and the probability of speech privacy problems", The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 127, 815 (2010)
- [5] J. Bradley, B. Gover, "A new system of speech privacy criteria in terms of Speech Privacy Class (SPC) values", Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA 2010, Sydney, Australia, 1-5
- [6] ASTM E2638 – 10, "Standard Test Method for Objective Measurement of the Speech Privacy Provided by a Closed Room", 2017.
- [7] ISO 16283-1 Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 1: Airborne sound insulation
- [8] ISO 1996-1 Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 1: Basic quantities and assessment procedures
- [9] ISO 717-1 Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation
- [10] M. Mijić, D. Šumarac Pavlović, M. Bjelić, T. Miljković, „Uticaj „tišine“ na zvučni komfor“, ETRAN 2019, Zbornik radova, 46-51
- [11] M. Mijić, D. Šumarac Pavlović, M. Bjelić, T. Miljković „Speech privacy as a harmonizing factor in rating the sound insulation between dwellings“, 23rd International Congress on Acoustics ICA 2019, Aachen, septembar 9-13, 2019, Proceedings, pp. 2946-2950
- [12] ISO 22955:2021 Acoustics — Acoustic quality of open office spaces
- [13] J. Sundberg, M. Nordenberg. "Effects of vocal loudness variation on spectrum balance as reflected by the alpha measure of long-term-average spectra of speech", Journal of Acoustical Society of America, Vol 120, No 1 (2006) 453-459
- [14] Miodrag Stanojević, "Procena indeksa privatnosti u zgradama na osnovu ugaone raspodele incidentne energije", doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet univerziteta u Beogradu, 2023.

ABSTRACT

The fundamental dimension of acoustic comfort in residential buildings is the sound privacy, which at the elementary level means that neighbors cannot hear each other. Such a requirement led to the introduction of minimum requirements for sound insulation between dwellings. However, the state of privacy is not only a matter level of sound insulation between room. It has been shown in the literature that privacy is a function of two parameters: the sound insulation between dwellings and ambient noise level in living rooms. In that sense, the parameter for evaluating the state of privacy is defined as the sum of those two quantities. In recent times, changes in the building construction, mainly caused by the energy efficiency of the buildings, have produced as a side effect a state of extreme silence in the rooms, while at the same time the minimum sound insulation requirements have not been adapted to that fact. As a consequence, there are frequent complaints from residents in new buildings about insufficient sound insulation. But the problem is in another parameter influencing the privacy - a very low level of ambient noise. There is no adequate data on this in the literature so far, so this paper presents the results of noise research as a factor that determines privacy in buildings. A relatively widespread condition of ambient noise levels below 20 dB(A) was established. It is shown how such a condition affects the audibility of speech coming "from the other side of the wall".

Analysis of ambient noise in dwellings

Miodrag Stanojević, Miomir Mijić