Dr Predrag Petrović,
dipl. inž.
Industrija motora Rakovica,
Beograd

BUKA PNEUMATIKA MOTORNIH VOZILA U KONTAKTU SA PODLOGOM

UDC: 629.11.012.55:534.836

Rezime:

Međunarodna organizacija konstruktora motornih vozila (OICA) posvećuje veliku pažnju utvrđivanju uticaja buke pneumatika na opšti nivo buke vozila. U Evropi se obavljaju opsežna ispitivanja radi određivanja učešća buke pneumatika u ukupnoj buci vozila: uticaja ubrzanja, odnosno obrtnog momenta, na buku pneumatika i proučavanja uticaja buke pneumatika na buku vozila. Očigledno da domaćim proizvođačima motornih vozila, kao i inostranim, predstoji veoma kompleksan problem koji treba rešavati sukcesivno, ali veoma brzo i efikasno radi smanjenja buke, odnosno omogućavanja homologacije novoprodučenih vozila.

Ključne reči: vozilo, buka pneumatika, zakonska regulativa.

NOISE OF MOTOR VEHICLE PNEUMATICS IN THE CONTACT WITH THE GROUND

Summary:

The organization of International constructors of automobiles (OICA) pays great attention to the assessment of the effect of the noise of pneumatics on the overall vehicle noise level. In that context, comprehensive examinations of various types of pneumatics have been carried out from the viewpoint of determination of the correlation between the noise of pneumatics and the noise of vehicles: the acceleration and torque effects on the noise of pneumatics and the overall noise of vehicles. It is obvious that local as well as foreign motor vehicles manufacturers are faced with a very complex problem which has to be solved successively, but very quickly and efficiently in order to reduce the noise and enable the homologation of newly manufactured vehicles.

Key words: vehicles noise types, legal regulations.

Uvod

U eri ubrzanog razvoja saobraćaja sve je prisutniji problem buke, kao aktivni parametar čije delovanje nepovoljno utiče na populaciju stanovništva. Problem snižavanja buke motornih vozila predstavlja jedan od osnovnih pravaca u normativnoj aktivnosti, posebno u Evropi u okviru rada komiteta Evropske ekonomske komisije za unutrašnji transport. Čine se

napori i ulažu velika materijalna sredstva kako bi se smanjila buka motornih vozila. Multidisciplinarni pristupi zahtevaju delovanje na različite pobudne izvore koji se generišu u ukupnu buku motornih vozila.

U ovom radu prikazane su aktivnosti Međunarodne organizacije konstruktora motornih vozila (OICA) u pogledu sadašnje problematike buke motornih vozila i tendencije razvojnih ispitivanja radi njenog smanjenja.

U odnosu na pravilnike grupe eksperata za buku (GRB) vezane za buku motornih vozila i motocikala, pravilnik ECE-51 se najčešće i najviše menja, a najznačajnija su dalja smanjenja dozvoljenih granica spoljašnje buke motornih vozila svih kategorija.

Motor je primarni izvor buke motornih vozila, koji predstavlja višepobudni izvor buke i vibracija. Radom sklopova motora i pomoćnih agregata mehanička i potencijalna energija pretvara se u energiju zvučnih talasa koja se emituje preko delova, a naročito bloka motora, korita, glave, poklopca i sl. Na slici 1 prikazana je strukturna šema buke motornog vozila sa svojim motorskim i tzv. vanmotor-
skim izvorima.

Hronološki prikaz promena granica nivoa buke motornih vozila

Problem buke, sa stanovišta opštih interesa u Jugoslaviji, počinje da se razmatra donošenjem Uredbe o ratifikaciji Pravilnika br. 9, koji se odnosi na homologaciju vozila. On važi za motorna vozila zapremine preko 50 ccm, isključujući traktore i poljoprivredne mašine na sopstveni pogon. U pravilniku su, pored definisanja tačnosti mernih instrumenata, uslova merenja i metoda merenja, date i granične vrednosti buke koje su stupile na snagu januara 1971. godine, i koje iznose za:

- 1) Putničke automobile 84 dB(A)
- 2) Privredna motorna vozila za prevoz robe:
 - mase $\leq 3,5$ t 85 dB(A)
 - mase $> 3,5$ t, a ≤ 12 t 89 dB(A)

Sl. 1 — Struktura buke vozila

- mase 12 t, snage ≤ 200 KS 89 dB(A)
 - snage > 200 KS 92 dB(A)
- 3) Gradske i međugrad-ske autobuse:
- mase $\leq 3,5$ t 85 dB(A)
 - mase $> 3,5$ t, snage ≤ 200 KS 89 dB(A)
 - snage > 200 KS 92 dB(A)

Metoda merenja spoljašnje buke definisana je pravilnikom br. 9, čiji su zahtevi prihvaćeni i novim pravilnikom ECE-51 koji i danas važi. Poligon mora da zadovolji opšte zahteve kao što su: nivo buke okoline, mikroprofil podloge, brzina vetra, nagib podloge, atmosferske uslove, i dr.

Merenje se vrši tako što vozilo prilazi nailaznoj liniji A-A, konstantnom brzinom pri $3/4$ broja obrtaja na maksimalnoj snazi ($v_A \leq 50$ km/h). U tom trenutku pritiska se pedala gasa do kraja i održava do prolaska zadnjeg dela vozila izlazne linije B-B i naglo otpušta.

Mikrofon se postavlja između nailazne i izlazne linije koje su na međusobnom rastojanju od 20 m, i to na 10 m od A-A i 10 m od B-B. Mikrofon je udaljen 7,5 m od ose kretanja vozila i postavljen je na visini od 1,2 m.

Vozila sa mehaničkim prenosnikom snage sa n stepeni prenosa ispituju se u $n/2$ stepenu prenosa. Vozila sa 5 stepeni prenosa ispituju se u drugom i trećem stepenu prenosa. Ispitivanja se obavljaju po tri puta u oba smera kretanja, a merodavna je srednja vrednost.

Neposredno po usvajanju prethodnih nivoa buke započeto je sa razmatranjem predloga nižih granica buke rezolucijom ECE Pravilnika br. 9, koji je stupio na snagu februara 1974.

godine, i činio prvi korak za zaštitu životne sredine. Te granice su iznosile za:

- 1) Vozila za prevoz putnika (≤ 9 sedišta) 82 dB(A)
- 2) Vozila za prevoz putnika (> 9 sedišta; mase $\leq 3,5$ t) 84 dB(A)
- 3) Vozila za prevoz putnika (> 9 sedišta; mase $> 3,5$ t) 89 dB(A)
- 4) vozila za prevoz putnika (> 9 sedišta, snage ≥ 200 KS) 91 dB(A)
- 5) Vozila za prevoz roba (mase $\leq 3,5$ t) 84 dB(A)
- 6) Vozila za prevoz roba (mase $> 3,5$ t) 89 dB(A)
- 7) Vozila za prevoz roba (mase > 12 t, snage ≥ 200 KS) 91 dB(A)

Grupa eksperata za buku (UN/ECE/WP29/GRB) 1975. godine započela je da razmatra kontrolu nivoa buke vozila u eksploataciji, uz sugestiju da razlika nivoa buke pri homologaciji i u eksploataciji ne sme biti veća od 3 do 5 dB(A) uz sve objektivne okolnosti koje prate tu razliku.

Uočavajući ozbiljnost ekoloških problema potpisnici sporazuma o homologaciji su razmatrali mogućnost redukcije graničnih nivoa buke i to u periodu od 1978. do 1979. po stupanju na snagu amandmana ECE Pravilnika. Tom prilikom, pored predloga nivoa buke u pojedinim zemljama prema kategorijama vozila, dat je i nivo buke prihvaćen od većine eksperata. Nivoi buke u Jugoslaviji bili su među najvišim, a usaglašeni predlog predviđao je redukciju u proseku za 3 do 4 dB(A), što je prikazano u tabeli 1.

Tabela 1

Vrsta vozila	Jugosla- vija (E 10)	Preporučene granice od WP29/GRB
1. Putnička vozila		
— ≤ 9 sedi- šta	82	80
— > 9 sedi- šta $< 3,5$ t	84	81
— $< 3,5$ t	89	86
— $> 3,5$ t > 200 KS	91	86
2. Teretna vozila		
— $< 3,5$ t	86	81
— $> 3,5$ t	89	86
— > 12 t, > 200 KS	91	88

Uvažavajući stepen tehničko-tehnoloških mogućnosti donet je novi UN/ECE pravilnik br. 51, koji razmatra samo vozila sa četiri točka, a stupio je na snagu jula 1982. godine sa sledećim dozvoljenim nivoima buke:

- 1) Vozila kategorije M_1 80 dB(A)
- 2) Vozila kategorije M_2
(čija masa ne prelazi 3,5 t) 81 dB(A)
- 3) Vozila kategorije M_2
(čija masa prelazi 3,5 t)
i M_3 82 dB(A)
- 4) Vozila kategorije M_2 i M_3
koja imaju snagu motora ≥ 147 kW 85 dB(A)
- 5) Vozila kategorije N_1 81 dB(A)
- 6) Vozila kategorije N_2 i N_3 86 dB(A)
- 7) Vozila kategorije N_3 koja
imaju motor snage ≥ 147
kW 88 dB(A)

Oznake u klasifikaciji vozila su:

1. Kategorija M : motorna vozila za prevoz putnika sa najmanje 4 točka ili vozila sa 3 točka čija maksimalna masa prelazi 1 t.

Kategorija M_1 : vozila za prevoz putnika koja pored sedišta vozača imaju još najviše 8 sedišta.

Kategorija M_2 : vozila za prevoz putnika koja pored sedišta vozača imaju više od 8 sedišta i čija maksimalna masa ne prelazi 5 t.

Kategorija M_3 : vozila za prevoz putnika koja pored sedišta vozača imaju više od 8 sedišta i čija je maksimalna masa veća od 5 t.

2. Kategorija N : motorna vozila za prevoz tereta sa najmanje 4 točka ili vozila sa 3 točka čija maksimalna masa prelazi 1 t.

Kategorija N_1 : vozila za prevoz tereta i maksimalnom masom koja ne prelazi 3,5 t.

Kategorija N_2 : vozila za prevoz tereta i maksimalnom masom od 3,5 do 12 t.

Kategorija N_3 : vozila za prevoz tereta sa maksimalnom masom preko 12 t.

Krajem 1981. godine započeto je razmatranje mogućnosti uvođenja novih, nižih granica buke zasnovanih na načelno prihvaćenoj orijentaciji da novi nivo buke za sve kategorije vozila iznosi 80 dB(A) i u tom pravcu iskristalisana su dva predloga za period od

1985. do 1990. godine, što je prikazano u tabeli 2. Analizama se pokazalo da je moguće smanjenje nivoa buke za 5 do 10 dB(A) u 1985. godini i pritom predočeno da je izvedenim konstrukcijskim poboljšanjima teških kamiona moguće izvršiti smanjenje buke za 10 dB(A), uz povećanje troškova za 5 do 10 %. Redukcija od 10 dB(A) na kamionima doprinela je sniženju nivoa buke duž saobraćajnica za 3 do 4 dB(A), i za 5 dB(A) u urbanim sredinama.

Tabela 2

Kategorija vozila	E16	E1
Vozilo kategorije M ₁	76	75
Vozilo kategorije M ₂ (čija masa ne prelazi 3,5 t)	77	76
Vozilo kategorije M ₂ (čija masa prelazi 3,5 t) i M ₃	77	80
Vozilo kategorije M ₂ i M ₃ koja imaju snagu motora ≥ 147 kW	77	80
Vozila kategorije N ₁	77	80
Vozila kategorije N ₂ i N ₃	80	80
Vozila kategorije N ₃ koja imaju snagu motora ≥ 147 kW	—	80

Takođe, imajući u vidu i orijentaciju japanske vlade da se od 1984. godine smanji nivo buke za 3 dB(A) kod autobusa i kamiona u odnosu na 1979. godinu, serijom amandmana 01 na ECE pravilnik br. 51, od aprila 1988. godine donete su nove granice nivoa buke i to za:

- 1) Vozila kategorije M₁
(putnička vozila) 77 dB(A)
- 2) Vozila kategorije M₂ i M₃:
 - mase > 3,5 t, snage < 150 kW 80 dB(A)
 - mase > 3,5 t snage ≥ 150 kW 83 dB(A)

- 3) Vozila kategorije M₂, M₃
i N₁
 - mase ≤ 2 t 78 dB(A)
 - mase > 2 t, a ≤ 3,5 t 79 dB(A)
- 4) Vozila kategorije N₂ i N₃
 - mase > 3,5 t:
 - snage < 75 kW 81 dB(A)
 - snage ≥ 75, a < 150 kW 83 dB(A)
 - snage ≥ 150 kW 84 dB(A)

Kako je broj proizvedenih vozila, globalno gledano, povećan, nastala je potreba da se više utiče na pojedine tehničke celine ili interaktivne elemente motornih vozila. Interakcija između pneumatika i kolovoza zaokupljala je pažnju eksperata za buku i kočni sistem, pa je 1986. godine usvojen predlog metoda merenja buke drumskih vozila, koja potiče od kontakta pneumatika sa kolovozom. Do sada su u opticaju tri predložene metode merenja buke pneumatik-kolovoz: metoda kotrljanja, metoda laboratorijskih valjaka i metoda prikolice. Pored veze između pneumatika i kolovoza, pažnja se posvećuje komponentama i materijalima koji utiču na smanjenje nivoa buke, kao što su: izduvne cevi, ekspanzione komore, prigušivači zvuka, vlaknasti materijali u izduvnim sistemima.

Opšte društveno angažovanje po pitanju zaoštrevanja ekoloških zahteva u svetu dovodi do toga da eksperti u oblasti buke motornih vozila (WP.29/GRB) definišu zahteve u odnosu na navedene pojave, izuzimajući kompresionu buku i interakciju pneumatik-kolovoz. Kroz dodatak 1 ECE pravilnika br. 51/01 (od septembra 1991. godine), aprila 1992. godine usaglašen je predlog novih granica buke, i nivo kompresione buke i karakteristike ispitnog poligona. One su stupile na snagu oktobra 1995. godine kao serija amandmana 02 na ECE pravilnik br. 51, sa mogućnošću da se od oktobra 1996. godi-

ne zabrani registracija onim vozilima koja ne zadovoljavaju zahteve ECE pravilnika br. 51/02. Te granice iznose za:

- 1) Vozila kategorije M_1
(putnička vozila) 74 dB(A)
- 2) Vozila kategorija M_2 i M_3 :
 - mase $> 3,5$ t snage < 150 kW 78 dB(A)
 - mase $> 3,5$ t, snage ≤ 150 kW 80 dB(A)
- 3) Vozila kategorije M_2 , M_3 i N_1 :
 - mase ≤ 2 t 76 dB(A)
 - mase > 2 t, a $\leq 3,5$ t 77 dB(A)
- 4) Vozila kategorije N_2 i N_3 mase $> 3,5$ t:
 - snage < 75 kW 77 dB(A)
 - snage ≥ 75 , a < 150 kW 78 dB(A)
 - snage > 150 kW 80 dB(A)

U narednom periodu (5 do 10 godina) treba očekivati dalje sniženje granica buke, u celini za 2 do 4 dB(A), kao i definisanje nivoa buke pojedinih tehničkih jedinica ili interaktivnih elemenata (u ovom momentu interakcija pneumatik-kolovoz).

Interakcija pneumatika i podloge sa aspekta buke motornih vozila

Proces nastajanja buke interakcije pneumatik — podloga

Kao što je prikazano na strukturalnoj šemi buke motornih vozila (sl. 1), buka motora ima dominantan uticaj. Od vanmotorskih izvora, buka interakcije pneumatik-podloga ima najveći uticaj na ukupan opšti nivo buke, naročito pri većim brzinama (preko 70 km/h).

Buka interakcije pneumatik-podloga nastaje usled međusobnog kontakta materija čije su čvrstoće različite.

U literaturi se najčešće navode tri uzroka nastajanja buke:

— pri kotrljanju pneumatika istiskuje se vazduh iz šupljina dezena (profila) protektora pri stupanju u kontakt sa podlogom i istovremeno vraća vazduh u šupljine elemenata dezena protektora (Air pumping);

— pri kontaktu sa podlogom dezen protektora deformiše se zavisno od mikrofila podloge, geometrije dezena, vrste materijala (kvaliteta kaučuka), ugaone brzine pneumatika i dr. Pri deformacijama šare pneumatika dolaze u međusobni kontakt koji izaziva njihovo klizanje (Sfick and slip);

— pri kotrljanju pneumatika dolazi do udaranja ramena pneumatika o podlogu.

Buka pneumatika zavisi od njegove elastičnosti (kvaliteta kaučuka, broja i vrste kordova karkase), dezena protektora (poprečne šare stvaraju veću buku od uzdužnih), tipa pneumatika (radijalni imaju manju buku od dijagonalnih), mikrostrukture podloge (podloga sa manjom pozornošću izaziva niži nivo buke), brzine kretanja (veće brzine izazivaju veću buku), dubine šare (dezena) protektora (manja dubina izaziva niži nivo buke), pritiska u pneumaticima (i viši i niži pritisak od nominalnog nepovoljno utiču na nivo buke), opterećenja (veće opterećenje izaziva viši nivo buke), stanja točka vozila (pogonski, vođeni, neutralni, slobodni, kočeni), vučnih i kočioni sila na pneumaticu koje povećavaju nivo buke i dr.

Nivo zvučnog pritiska usled dodira pneumatika i kolovoza definisan je jednačinom:

$$L_i = 68,5 + 20 \log g \cdot W/s + 10 \log n + 20 \log f \cdot g + 40 \log v - 10 \log r,$$

gde je:

L_i — nivo buke pneumatika,

g — dubina protektora,

W — širina gazećeg dela protektora,

- n — broj udubljenja,
- fg — delimična promena zapreminskog udubljenja,
- v — brzina vozila,
- r — rastojanje do tačke posmatranja.

Ova jednačina važi u slučaju neravanskog zvučnog izvora i sferičnog širenja zvučnih talasa.

Opšti uslovi ispitivanja

U Evropi, pa i u našoj zemlji, ispitivani su različiti tipovi pneumatika, sa aspekta korelacije buke pneumatika i buke vozila. Ispitivanja su imala za cilj utvrđivanje uticaja ubrzanja — usporenja, obrtnog momenta, oblika karoserije, uravnoteženosti i tipa pneumatika, brzine, udvojenosti pneumatika i drugog na nivo buke vozila.

Aktivnosti na problematici buke pneumatik — podloga uglavnom su usmerene na specifikacije mernih instrumenata, uslova i metoda ispitivanja. Metode merenja buke pneumatik — podloga obuhvataju: putna ispitivanja, metodu kotrljanja, ispitivanja opitnom prikolicom (u blizini pneumatika ili u prolazu u jednoj ili više tačaka) i laboratorijska ispitivanja na valjcima.

Metoda merenja buke pneumatika u prolazu odgovara pravilniku ECE-51. Vozilo sa isključenim motorom prilazi nailaznoj liniji A-A brzinom $v_A \leq 50$ km/h. Mikrofon se postavlja između nailazne i izlazne linije koje su na međusobnom rastojanju od 20 m. Mikrofon je udaljen od ose kretanja vozila 7,5 m, na visini 1,2 m $\pm 0,1$ m.

Brzina vetra u visini mikrofona ne sme da prelazi 5 m/s, a temperatura vazduha treba da bude 5—30°C. Buka okoline mora biti najmanje za 10 dB niža od one koju stvara vozilo.

Pri merenju buke u laboratorijskim uslovima u više tačaka, mikrofon se fiksira na horizontalnom rasto-

janju od bočne strane pneumatika na 0,2 m za putnička i 0,4 m za teretna vozila. Postavlja se normalno na smer kotrljanja ($90^\circ \pm 5^\circ$) na visini 0,1 m od tla, kao što je prikazano na slici 2. Merne tačke (0, 1, 2, 3, 4, 5 i 6) nalaze se sa spoljašnje strane pneumatika.

Pri merenju usmerenja buke mikrofoni se postavljaju pod uglom od 135° ili 45° u odnosu na smer kretanja. Za merenja se koriste fonometri visoke preciznosti koji zadovoljavaju propise IEC.

Očigledno je da su ovakva ispitivanja složena, a primena bilo koje metode povlači za sobom svoje prednosti i mane, odnosno odražava se na tačnost dobijenih rezultata. Uslovi putnih ispitivanja identični su uslovima ispitivanja buke po pravilniku ECE-51 (postavljanje mikrofona, definisanje brzine, atmosferski uslovi, uslovi okruženja i dr.).

Položaj mikrofona za merenje u više tačaka (ili u jednoj tački) prikazan je na slici 2, pri čemu je udaljenost h promenljiva u zavisnosti od tipa pneumatika (za putnička ili teška vozila).

Pored navedenih, definišu se i dodatni zahtevi u skladu sa opterećenjem pneumatika po deklaraciji proizvođača. Raspon točkova mora biti manji od 7 m, konstrukcija vozila ne sme da utiče na prigušenje ili pojačanje emisije buke pneumatika, ispitivanje se obavlja na četiri pneumatika istih dimenzija i kategorija. Dubina šare protektora pre uhodavanja mora biti maksimalna, a naplaci moraju biti propisani od strane proizvođača. Za svaki pneumatik na ispitnom vozilu, probno opterećenje Q_t iznosi 70 % do 90 % od ukupnog referentnog opterećenja Q_r . Za sve pneumatike referentno opterećenje Q_r odgovara najvećem indeksu opterećenja (IN) koji označava najveće dozvoljeno opterećenje pneumatika pri najvećoj brzini koja je dozvoljena za taj pneumatik. Pri-

Sl. 2 — Položaj mikrofona pri merenju buke pneumatika:

$h = 0,2 \text{ m}$ za putnička vozila, $h = 0,4 \text{ m}$ za teška vozila

tisak vazduha p_t u svakom pneumaticu ne sme da bude veći od referentnog pritiska p_r u dijapazonu:

$$p_r(Q_r/Q_r)^{1,25} \leq p_t \leq 1,2p_r(Q_r/Q_r)^{1,25}$$

gde je:

— p_r referentni pritisak od 2,5 bara za standardne pneumatike putničkih vozila (za ojačane pneumatike 3 bara),

— referentni pritisak p_r za pneumatike dostavnih vozila odgovara indeksu pritiska na bočnoj strani pneumatika.

Pre ispitivanja pneumatike treba »uhodati« kako bi se ujednačila temperatura. Da bi se to postiglo zahteva se prelazak 100 km u normalnim uslovima. Takođe, pre ispitivanja pneumatike treba montirati u istom, defi-

nisanom smeru okretanja. Pri nailasku prednjeg dela vozila na nailaznu liniju, ručica menjačkog prenosa se postavlja u neutralni položaj, a motor isključuje.

Merenja se obavljaju četiri puta sa svake strane vozila, pri brzini kretanja koja je veća od referentne brzine ispitivanja, i još najmanje četiri puta brzinom koja je manja od referentne. Probna brzina mora da bude 70 do 90 km/h za pneumatike putničkih vozila i njihove prikolice, sa indeksom opterećenja koji je manji ili jednak vrednosti 121.

Referentna brzina v_{ref} , pri utvrđivanju konačnih rezultata iznosi:

— 80 km/h za pneumatike putničkih vozila i prikolice sa indeksom opterećenja ≤ 121 ;

— 70 km/h za pneumatike dostavnih vozila i prikolice sa indeksom opterećenja > 121 .

Svaki zadovoljavajući izmereni rezultat (v_i — probna brzina i L_i — nivo zvuka na jednoj strani probnog vozila), utvrđuje nivo buke L_R koji stvara pneumatik — podloga, a dobija se regresionom analizom u skladu sa jednačinom:

$$L = L_R + a \log (v/v_{ref})$$

$$L_R = L + av,$$

gde je:

L — srednja vrednost izmerene buke (dB(A),

n — broj merenja,

v — srednja vrednost log brzine,

$$v_i = \log (v/v_{ref}),$$

a — nagib regresione prave u dB(A)/dekadi brzine.

Konačni rezultati se koriguju primenom temperature kompenzacije za referentnu temperaturu površine puta Θ_{ref} u skladu sa izrazom:

$$L_R(\Theta_{ref}) = L_R(\Theta) + K(\Theta - \Theta_{ref}),$$

gde je:

Θ — izmerena temperatura površine puta pri $\Theta_{\text{ref}} = 20^\circ\text{C}$,

K — koeficijent korekcije

$K = 0,03 \text{ dB(A)/}^\circ\text{C}$ ako je $\Theta > \Theta_{\text{ref}}$,

$K = 0,06 \text{ dB(A)/}^\circ\text{C}$ ako je $\Theta < \Theta_{\text{ref}}$.

Temperatura kompenzacije ne primenjuje se za pneumatike dostavnih vozila i njihove prikolice sa indeksom opterećenja > 121 .

Korekcija navedenih parametara definiše se regresionom krivom, pomoću formule:

$$L_p = A_0 + A_1 \cdot T$$

gde je:

L_p — nivo buke u dB(A),

T — temperatura ambijenta,

A_0, A_1 — koeficijenti regresije.

Na slikama 3 i 4 prikazana je linearna zavisnost nivoa zvučnog pritiska od temperature ambijenta za pneumatike putničkog vozila i lakih kamiona.

P1
205/65R15 93H

Sl. 3 — Zavisnost nivoa buke i temperature ambijenta za pneumatike putničkog vozila

ska od temperature okoline za pogonski i vođeni točak vozila. Na slici 3 zavisnost je prikazana za pneumatik 205/65 R15 93 H putničkog vozila, a na slici 4 za pneumatik 7.50-R16/14PR lakih kamiona.

T3
7.50-R16/14 PR

Sl. 4 — Zavisnost nivoa buke i temperature ambijenta za pneumatike lakih kamiona

Rezultati ispitivanja pokazali su da je prosečna promena nivoa zvučnog pritiska $0,051 \text{ dB(A)/}^\circ\text{C}$ kod pogonskog točka i $0,091 \text{ dB(A)/}^\circ\text{C}$ kod vođenog točka, što znači da je uticaj temperature manji kod pogonskih točkova.

Rezultati ispitivanja interakcije buke pneumatik — podloga

Po direktivi OICA u Nemačkoj su testirana 143 različita tipa pneumatika putničkih automobila širine od 135 do 255 mm. Pored pneumatika za putnička vozila ispitivani su i pneumatiki za teška vozila. Na rezultate istraživa-

nja uticali su mnogi neistraženi faktori, pa je zbog toga FIGE (Nemačka asocijacija za buku) dobila zadatak od ACEA (Evropsko udruženje proizvođača vozila) da kompletira testove koji bi obuhvatili:

- određivanje korelacije buke po metodi opitnih prikolica i rezultata izmerenih na vozilu;

- uticaj ubrzanja, odnosno obrtnog momenta na buku pneumatika;

- proučavanje uticaja vozila na buku pneumatika.

Pored navedenih parametara koji utiču na buku pneumatika, ništa manje nisu značajni: brzina, dezen protektora, uravnoteženost točka, udvojenost točkova i dr. U tom kontekstu obavljena su mnogobrojna ispitivanja, a deo rezultata prikazan je u ovom radu.

Uticaj brzine

Uticaj brzine kotrljanja (merna mesta prema slici 2) na buku pneumatika prikazan je na slici 5. Do brzine oko 70 km/h nivo buke je približno konstantan, a iznad te brzine ima tendenciju porasta.

Uticaj uravnoteženosti točka

Uticaj uravnoteženosti točka na nivo buke i njen karakter, različit je i zavisi od položaja mernih mesta (slika 2).

Sl. 5 — Uticaj brzine na buku pneumatika

Najveći nivoi buke su u tačkama 2 i 4 posle ostvarenog kotrljanja uz neznatne razlike u nivou između balansiranih i nebalansiranih točaka, dok su te razlike nešto izraženije u tačkama 1 i 3. Pri brzinama od 110 km/h, razlika može da iznosi 4 do 5 dB(A). Na slici 6 dat je prikaz nivoa buke balansiranih i nebalansiranih točaka (merno mesto 3).

Sl. 6 — Uticaj uravnoteženja točka na buku pneumatika

Nivo buke na mernim mestima 5 i 6 za 3 do 4 dB(A) je niži u odnosu na merna mesta 1 i 3 sa balansiranim točkom, zbog blizine nailazne kontaktne površine pneumatika i podloge (u smeru kretanja), dok je karakter buke nebalansiranih točaka sličan kao i na mestima 1 i 3, zbog povećanog nivoa koji se prostire do zona tačaka 5 i 6.

Uticaj stanja točka (pogonski-gonjeni) na buku pneumatika

Uticaj stanja točka (pogonski-gonjeni) na buku pneumatika prikazan je na slici 7 (merno mesto 3).

Uočava se da je nivo buke pogonskog točka za 1,5 do 2,5 dB(A), iznad buke gonjenog točka.

Razlika nivoa buke pneumatika pogonskog i gonjenog točka veća je pri nižim brzinama kretanja (< 80 km/h) i iznosi 2 do 2,5 dB(A), dok je ta razlika (> 80 km/h) pri višim brzinama nešto manja (1—1,5 dB(A)).

Sl. 7 — Uticaj stanja točka na buku pneumatika

Uticaj udvojenosti točkova

Uticaj udvojenosti točkova na buku kod teških vozila prikazan je na slici 8.

Može se uočiti da je uticaj udvojenih pneumatika na buku veći za oko 2 dB(A) u odnosu na pneumatik prednjeg točka istih dimenzija, pri svim brzinama kretanja.

Sl. 8 — Uticaj udvojenih pneumatika na buku

Frekvencijski spektar buke pneumatika

Frekvencijski spektar buke pneumatika pogonskog i gonjenog točka (merno mesto 4) putničkog vozila prikazan je na slici 9.

Sl. 9 — Frekvencijski spektar

Korelacija rezultata ispitivanja na vozilu i prikolici

U okviru ispitivanja koja je obavljalala FIGA, od ukupno 143 pneumatika izabrana su 24 reprezentativna tipa širine od 155 do 205 mm, radi upoređenja rezultata ispitivanja na vozilu i prikolici. Ispitivanja su vršena pri brzini od 50 do 100 km/h. Radi smanjenja uticaja tipa vozila na ispitivanje korišćena su samo dva vozila (VW golf i opel omega). Razlika rezultata između korišćenih metoda ispitivanja pomoću prikolice i vozila varirala je

u zavisnosti od brzine.. Tako pri brzini vozila od 80 km/h vrednost je veća u proseku za 3,4 dB(A), a pri 60 km/h za 3,2 dB(A). Na slici 10. dat je prosek razlika buke u zavisnosti od brzine, na stazi definisanoj ISO standardom.

Sl. 10 — Prosečna razlika rezultata ispitivanja sa prikolicom i vozilom u zavisnosti od brzine

Uticaj ubrzanja na buku pneumatika

Za ispitivanja uticaja ubrzanja na buku korišćeno je 5 pneumatika širine od 195 do 205 mm, a ispitivanja su vršena na vozilu i prikolici, sa različitim ubrzanjima i silama kočenja. Obe metode ukazale su na to da se buka pneumatika povećava i pri pozitivnom momentu (ubrzanju) i pri negativnom (usporenju-kočenju). U zavisnosti od snage motora vozila pri punom ubrzanju u trećem stepenu prenosa povećanje buke iznosi 0,5 do 2,5 dB(A), a u drugom stepenu prenosa od 2 do 3,5 dB(A). Srednja vrednost buke pneumatika, izmerena u skladu sa EEC 92/97, jeste za 2 dB(A) veća od buke pneumatika pri konstantnoj brzini. Na slici 11 prikazano je povećanje buke pneumatika u zavisnosti od ubrzanja vozila.

Sl. 11 — Uticaj ubrzanja vozila na buku pneumatika

Uticaj konstrukcije karoserije vozila na buku pneumatika

Ispitivanja su obavljena na pet različitih pneumatika širine od 195 do 205 mm, na dva vozila slična po gabaritnim merama i snazi motora (opel omega — vozilo A i mercedes E 230 — vozilo B). Dobijeni rezultati bili su različiti za pojedine pneumatike. Pri brzini od 60 km/h razlike su bile od 0,1 do 1,8 dB(A), a pri 80 km/h od 0,1 do 1,5 dB(A). To potvrđuje da čak i sa sličnim vozilima, zavisno od kombinacije pneumatik-vozilo, postoje razlike buke koje su izvan prihvatljivih granica tolerancije. Međutim za utvrđivanje adekvatnog kriterijuma potrebno je izvršiti više probnih merenja na različitim vozilima. Na slici 12. prikazan je uticaj konstrukcije karoserije na buku pneumatika.

Sl. 12 — Uticaj konstrukcije karoserije vozila na buku pneumatika

Korelacija rezultata ispitivanja i uslova ispitivanja

Ukupni rezultati ispitivanja prikazani su na slici 13, gde se može uočiti njihova disperzija.

Sl. 13 — Buka 143 različita tipa pneumatika u zavisnosti od uslova ispitivanja

Na levoj ordinanti prikazani su nivoi buke pri brzini od 80 km/h, a na desnoj buka pneumatika prema direktivi 92/97/EEC.

Ove vrednosti dobijene su pri brzini od 60 km/h, i srednjem uticaju obrtnog momenta od 2 dB(A).

U svakoj kategoriji pneumatika postoje vrednosti sa nivoom buke nižim od 71 dB(A). Međutim, njihov broj je vrlo mali, pa treba ispitati koji od njih ispunjavaju zahteve proizvođača vozila po pitanju bezbednosti, komfora, performansi, i dr. Disperzija vrednosti za pojedine kategorije pneumatika je velika i iznosi oko 6 dB(A).

Oko 10 % pneumatika za putničke automobile stvara buku koja ne prelazi 74 dB(A). Približno 60 % pneumatika stvara buku koja prelazi granicu od 71 dB(A), što znači da je njihov udeo u ukupnoj dozvoljenoj buci veći od 50 %.

Na slici 14. je prikazan uticaj pojedinih pneumatika na nivo buke.

Sl. 14 — Buka pneumatika u zavisnosti od uslova ispitivanja

Pored ispitivanja čiji su rezultati prikazani, vršena su i druga slična ispitivanja buke pneumatika.

U Nemačkoj su ispitivani pneumatici 17 različitih proizvođača, na jednom ispitnom vozilu u II i III stepenu prenosa, metodom slobodnog ko-trljanja dobijeni rezultati prikazani su na slici 15.

Sl. 15 — Buka pneumatika u II i III stepenu prenosa i buka slobodnog kretanja: 1 — Conti slick 195/50 R15, 2 — Michelin MXV2 195/50 R15, 3 — Conti CV 51 195/50 R15, 4 — Goodyear NCT2 195/50 R15, 5 — Uniroyal R 440 195/50 R15, 6 — Conti 185/55 R15, 7 — Kleber C 501 V 195/50 R15, 8 — Conti CV 90 195/50 R15, 9 — Pirelli P600 195/50 R15, 10 — Uniroyal R 440 195/50 R15, 11 — Conti slick 195/60 R14, 12 — Conti CV 51 205/50 R15, 13 — Conti CV 90 205/50 R15, 14 — Dunlop D40 205/50 R15, 15 — Conti CZ 91 205/50 R15, 16 — Pirelli P 700 205/50 R15, 17 — Uniroyal R 440 205/50 R15

Korelacija koeficijenta primenom metode kotrljanja i metode opitne prikolice može se izračunati bez obzira na broj mernih mesta i merenja. Jedan takav prikaz rezultata ispitivanja dat je na slici 16.

Sl. 16 — Korelacija između nivoa buke primenom metoda kotrljanja i opitne prikolice:

Zaključak

Nove granice buke, uvedene oktobra 1995. godine, moguće je ostvariti sa pneumaticima koji imaju nizak nivo buke, a čiji je broj danas veoma mali. Ispitivanja koja su do sada obavljena u Evropi, a čiji je deo rezultata prikazan u ovom radu, navode na sledeće konstatacije:

— buka pneumatika raste sa povećanjem brzine,

— buka pneumatika nebalansiranog točka je veća u odnosu na balansirani,

— buka udvojenih pneumatika je veća od singl-pneumatika,

— buka pneumatika pogonskog točka je veća od buke gonjenog točka,

— povećanje brzine izaziva više nivoa buke sa blagom tendencijom porasta kod pogonskog točka skoro u celokupnom frekventnom domenu,

— buka pneumatika se uvećava i pri ubrzanju i pri usporenju vozila, a njeni nivoi su viši u nižim stepenima prenoša,

— konstrukcija i oblik karoserije utiču na nivo buke pneumatika,

— dezen protektora utiče na nivo buke. Dezen sa poprečnom šarom ima viši nivo buke u odnosu na dezen sa uzdužnom šarom.

Danas oko 60% pneumatika ne zadovoljava limit buke od 74 dB(A), pa je neophodno definisati kvalitet proizvodnje radi zadovoljenja postavljenog limita. S obzirom na to da je već konstatovano da buka pneumatika zavisi od tipa vozila, potrebno je da nadležne institucije potpuno definišu ispitno vozilo, kao i metode i uslove ispitivanja koji bi obuhvatali i homologaciju ispitnih poligona. U našoj zemlji je neophodno sa domaćim proizvođačima pneumatika putničkih i teretnih vozila uspostaviti saradnju radi utvrđivanja nivoa buke i iznalaženja mogućnosti zadovoljenja postavljenih limita, odnosno optimizacije pneumatika sa aspekta buke.

Literatura:

- [1] Stav ACEA proizvođača vozila o modifikaciji metoda testiranja buke za vozila 92/97/EEC i direktiva za merenje buke pneumatika 92/93/EEC (decembar 1993).
- [2] Predlog dozvoljenih nivoa buke pneumatika u odnosu na buku koju stvara preumatik i podloga (izmena direktive 92/92/EEC (novembar 1993).
- [3] EEC type — Approval in respect of the sound level of a type of motor vehicle.
- [4] Acea position paper input for the erga-noise meeting of July 1994. — European commission.

- [5] Petrović, P., Janković, S., Popović, V.: Aktuelni problemi i tendencije razvojnih istraživanja problematike buke motornih vozila sa aspekta zakonske regulative (XV Naučno-stručni skup nauka i motorna vozila — Razvoj automobilske tehnike i okruženje, maj 1995, Beograd).

- [6] Methods of measurement of external noise emitted at tyre-road interface, Trans/SC1/WP29/GRB/R.112, economic commission for Europe.

- [7] Test results of tyre/road noise in Japan; Trans/SC1/WP29/GRB/R.107.
- [8] ECE R.9 i ECE R.9 Rev. 1.
- [9] ECE R.51 i ECE R.51/01.
- [10] TRANS/SCI1/WP29/GRB/2.
- [11] Petrović, P., Janković, S., Popović, V.: Aspekt buke motornih vozila u aktivnostima međunarodnih organizacija za standardizaciju, Svet-ski dan standardizacije, 12, 13. X 1995. Beo-grad, Kvalitet, časopis za unapređenje kvali-teta.
- [12] Petrović, P.: Interakcija pneumatik-podloga sa aspekta buke motornih vozila, XV Jugosloven-ska i III Međunarodna konferencija Buka i vibracije u životnoj i radnoj sredini, 11—13. X 1995. Niš.
- [13] Petrović, P: Istraživanje procesa generisanja strukturne buke dizel motora — Doktorska di-sertacija, Mašinski fakultet Beograd, 1996.
- [14] Veselinović, B., Petrović, P., Janković, S., i dr: Razvoj terenskog automobila Rakovica podpr. Smanjenje buke vozila korišćenjem do-maćih materijala. Projekat Ministarstva za na-uku i tehnološki razvoj Republike Srbije, 1992.