

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Испитивање моторних возила и мотора 2

Број индекса: 344/2013

Стефан З. Алексић

Мерење спољашње буке возила

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. доц др Данијела Милорадовић-ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да:

- истакне значај мерење спољашње буке возила,
- прикаже начине мерења спољашње буке возила стандардним методама,
- развије методологију мерења спољашње буке возила у оквиру Лабораторије за моторна возила и
- прикаже и анализира резултате мерења.

Препоручена литература:

- [1] Тодоровић Ј.: „Испитивање моторних возила“, Машински факултет Београд, Београд, 1995.
- [2] Шилић, Ђ.: „Испитивање моторних возила“, Велеучилиште Велика Горица, Велика Горица, 2010.
- [3] ISO 5130:2007 “Acoustics -- Measurements of sound pressure level emitted by stationary road vehicles”
- [4] ISO 362-1:2015: “Measurement of noise emitted by accelerating road vehicle – Engineering Method, Part 1: M and N categories”
- [5] ECE R51: “Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles having at least four wheels with regard to their noise emissions”
- [6] REGULATION (EU) No. 540/2014 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 April 2014 on the sound level of motor vehicles and of replacement silencing systems, and amending Directive 2007/46/EC and repealing Directive 70/157/EEC

Крагујевац, 31.03.2015. г.

Ментор:
др Данијела Милорадовић, доцент

Резиме

Друмски саобраћај је најдоминантнији извор буке у Европи. Непрекидни пораст комплексности развоја целокупног возила, изазвао је и знатни пораст комплексности акустике возила. У оквиру овог мастер рада, најпре је извршена анализа утицаја спољашње буке возила на окружење, истакнути су основни извори буке на возилу (мотор, пнеуматици), као и мере за њено смањење. Бука возила је предмет многих међународних, европских и домаћих стандарда и прописа, па је кратак преглед тих прописа приказан у оквиру мастер рада. Развијена је методологија мерења спољашње буке возила у оквиру Лабораторије за моторна возила и извршена су мерења на возилу Југо Флорида 1.3 EFI. На крају су приказани резултати мерења и анализа тих резултата.

Кључне речи: *возило, спољашња бука, мерење*

Abstract

Road traffic is the dominant source of noise in Europe. The continuous increase in the complexity of the development of the whole vehicle had caused a significant increase in complexity of vehicle acoustics. In this master thesis, first the effects of external noise of vehicles on the environment were analyzed, with the main sources of external vehicle noise (engine, tires), and measures to reduce it. The noise of vehicles is subject of many international, European and national standards and regulations, so a brief overview of these regulations is shown within the thesis. A methodology of measurement of exterior noise of vehicles within the Laboratory for motor vehicles was developed and measurements were carried out on the vehicle Yugo Florida 1.3 EFI. Finally, the results of measurement were presented and analysis of these results carried out.

Key words: *vehicle, external noise, measurement*

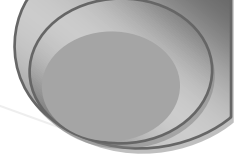


Садржај

Садржај	1
Увод	3
1. Спољашња бука возила.....	5
1.1 Основне особине звука	5
1.2 Бука возила у саобраћају	8
1.3 Бука погонског система возила.....	9
1.4 Бука пнеуматика	12
1.5 Мере за смањење буке возила	14
2. Мерење спољашње буке возила стандардним методама	17
2.1 Међународни прописи из области мерења спољашње буке возила	17
2.1.1 Мерење спољашње буке возила према ISO 5130: 2007 [13]	19
2.1.2 Мерење спољашње буке возила према ISO 362-1: 2015 [14]	24
2.1.3 Мерење спољашње буке возила према Правилнику EU 540/2014 [15]	26
2.1.4 Мерење спољашње буке возила према Правилнику UN/ECE R51 [17].....	33
2.2 Бука возила у прописима Републике Србије	34
2.3 Уређаји за мерење спољашње буке возила.....	35
2.3.1 Давачи за мерење нивоа звука – микрофони	36
2.3.2 Фонометри	37
3. Методологија мерења спољашње буке возила у оквиру Лабораторије за моторна возила.....	39
3.1 Предмет мерења.....	39
3.2 Мерне величине и начин њиховог мерења	40
3.3 Начин уградње мерних инструмената	43



3.4 Услови под којима треба да се обаве мерења.....	44
3.5 Начин спровођења мерења и прикупљања резултата	45
3.6 Начин приказивања резултата мерења	46
4. Приказ и анализа резултата мерења.....	47
4.1 Попуњавање радне табеле	47
4.2 Извештај о мерењу.....	47
4.3 Анализа резултата мерења	48
Закључак	49
Литература.....	51



Увод

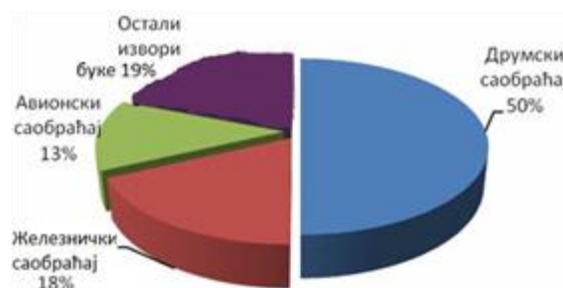
Друмски саобраћај чине све врсте возила са или без приколице. Ту спадају путнички и лаки аутомобили, средњи и тешки теретни аутомобили, аутобуси, мотоцикли, покретна моторна грађевинска возила, трактори, покретне пољопривредне машине, итд.

Иако аутомобили новијих генерација емитују знатно мање штетних супстанци, емисија из друмског саобраћаја и даље расте, што је последица повећања превоза терета, старења возног парка, недостатка коришћења осталих видова саобраћаја, али и повећања годишње километраже возила. Међутим, према Удружењу европских произвођача аутомобила, у последње време, значајно је смањен утицај производње возила на окружење. Велики део трошкова развоја и истраживања у европској аутомобилској индустрији усмерен је на побољшања особина возила везаних за утицај на окружење. На тај начин, европска аутомобилска индустрија је драстично смањила утицај моторних возила на квалитет ваздуха и ниво буке. [1]

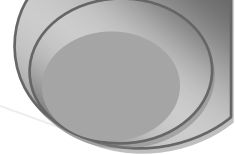
Бука (комунална или општа), којој су људи свакодневно изложени, поготово у градским подручјима, је један од највећих проблема у непосредној човековој околини. Бука може бити трајна, испрекидана и ударна, променљивог нивоа, различитог трајања и временске расподеле. У суштини, она представља нежељен, односно прегласан, неугодан или неочекивани звук.

На основу мишљења Европског комитета за животну средину и здравље, у Србији постоје тешкоће у вези са: неадекватним законодавством и граничним вредностима за буку, неодговарајућим мониторингом буке у градским подручјима, недостатком зонирања буке у процесу просторног планирања, непогодним положајем индустријских подручја, недостатком пројеката за заштиту од буке, недовољном контролом буке коју емитују моторна возила, као и неодговарајућим управљањем саобраћајем. Висок ниво саобраћајне буке захтева увођење технологија којима се емитују нижи нивои буке.

На слици 1, дат је процентуални приказ односа појединих извора буке у саобраћају у нашој земљи. Са слике се види да најмањи ниво буке потиче од ваздушног саобраћаја (13%), затим од железничког саобраћаја (18%), док највећу буку ствара друмски саобраћај (50%). [2]

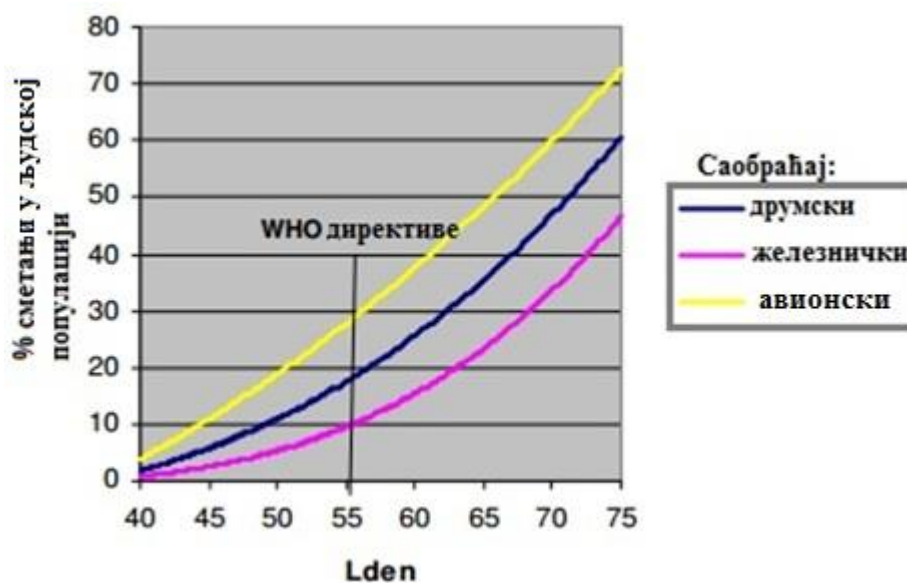


Слика 1 – Однос појединих извора буке у саобраћају [2]



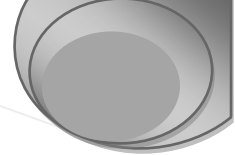
На слици 2, дат је процентуални приказ утицаја буке друмског, железничког и ваздушног саобраћаја на људску популацију у Европској Унији. Светска здравствена организација (енгл. *WHO – World Health Organisation*) поставила је дозвољени ниво еквивалентног интензитета звука „дан-вече-ноћ“ (енгл. “*day-evening-night*”), L_{den} , на ниво од 55 dB(A), јер се сматра да бука угрожава здравље људи. На основу слике 2, може се закључити да, при интензитету буке од 55 dB(A), ваздушни саобраћај ствара сметње код око 30% људи, друмски саобраћај код 20% људи и железнички саобраћај код 10% људи. Код неких људи, ниво сметњи почиње већ од 40 dB(A).

Друмски саобраћај је најдоминантнији извор буке у Европи. Оцењује се да је 125 милиона људи изложено нивоима буке од друмског саобраћаја већим од $L_{den} = 55$ dB(A), при чему је 37 милиона људи изложено нивоима буке преко $L_{den} = 65$ dB(A). Такође, више од 30% европске популације је ноћу изложено нивоу буке који превазилази 55 dB(A) [3].



Слика 2 – Процентуално изражене сметње у људској популацији од буке друмског, железничког и авионског саобраћаја, изражене у L_{den} , dB(A) [4]

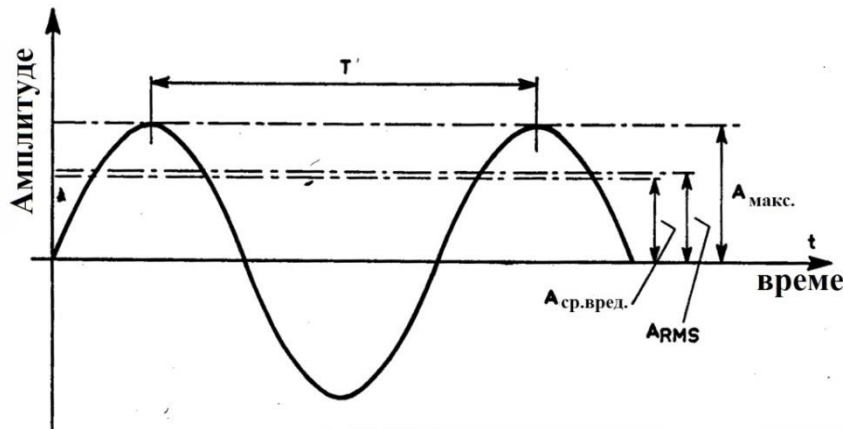
Последњих година, непрекидни пораст комплексности развоја целокупног возила, изазвао је и знатни пораст комплексности акустике возила, посматране у контексту спољашње буке возила и комфора возила, који се односи на буку унутар возила.



1. Спољашња бука возила

1.1 Основне особине звука

У физичком смислу, звук је механичко осциловање у гасу, течности или чврстом телу које карактеришу фреквенција, амплитуда и фаза. На слици 3 је дат приказ најједноставније осцилације која представља чист тон и састоји се из синусоиде фреквенције $f = 1/T$. [5]



Слика 3 – Карактеристике чистог тона [5]

Међусобно повезане математичке величине које карактеришу јачину осцилација су:

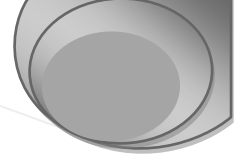
$$A_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt} \quad (1.1)$$

$$A_{|SR|} = \frac{1}{T} \int_0^T |a(t)| dt \quad (1.2)$$

$$A_{max} = A_{peak} \quad (1.3)$$

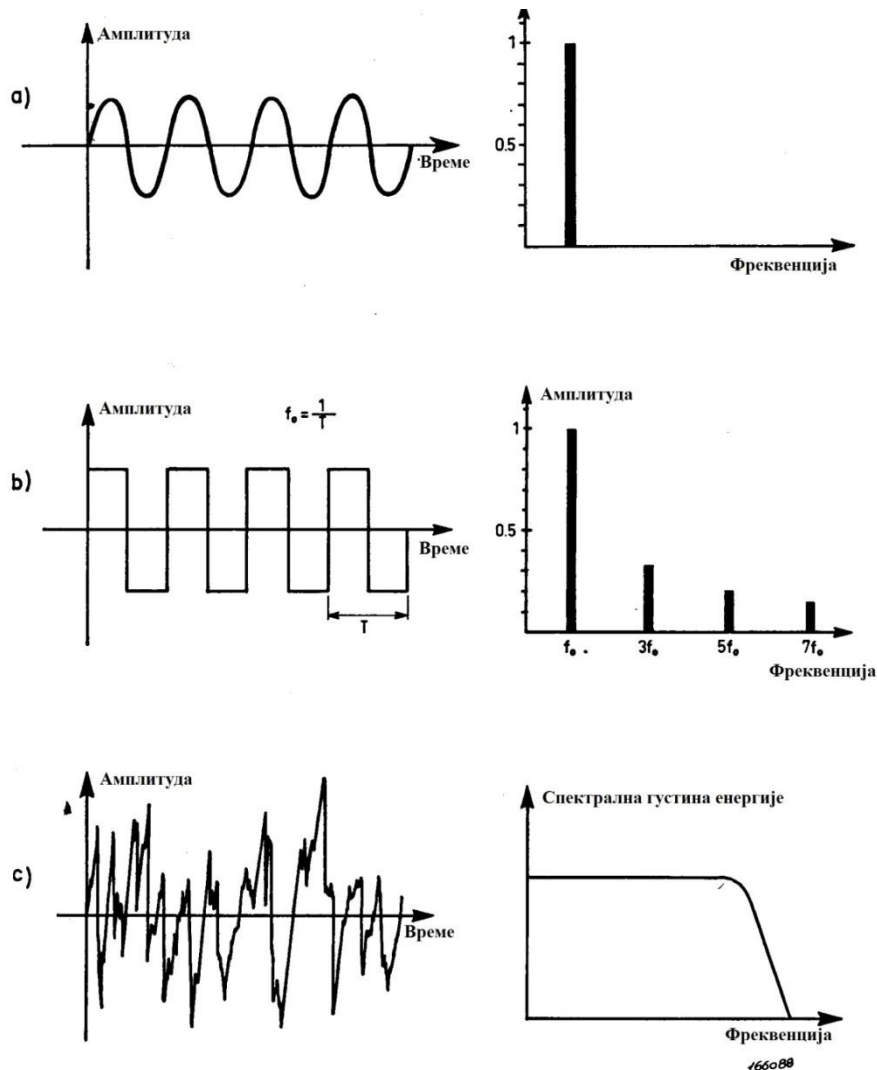
где су: A_{RMS} - квадратни корен из средње квадратне вредности амплитуде сигнала, $A_{|SR|}$ - апсолутна средња вредност и A_{max} - максимална вредност. Наведене величине повезане су на следећи начин (код чистог тона):

$$A_{RMS} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} A_{|SR|} = \frac{A_{max}}{\sqrt{2}} \quad (1.4)$$



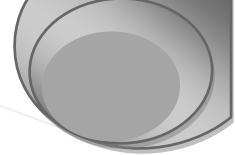
Пошто у свакодневном животу већина звукова нису чисте синусне осцилације, уместо амплитуда је пожељно увести концепт густине амплитуда како би се окарактерисала јачина сигнала.

На слици 4 приказани су примери звучних сигнала и њихових фреквентних спектра. [5]



Слика 4 – Примери звучних сигнала и њихових спектра: а) чист тон, б) комплексан, али периодичан сигнал, c) комплексан неперидичан сигнал (случајна бука) [5]

Човек чује најмањи звучни притисак као звук врло ниског интензитета. При мерењу буке, нормално се мери RMS ниво звучног притиска. Звучни притисак је скаларна величина. На 1000 Hz осећа просечна особа најмањи ваздушни притисак у вредности од $0.00002 \mu\text{bar}$ ($2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$), док је највећи ваздушни притисак који се прима без бола реда величине $1000 \mu\text{bar}$, тј. 100 Pa . Зато је коришћење звучног притиска у μbar неподесно, односно распон звучног притиска покрива динамички опсег од око 1:1000000. Према томе, боље је да се користи релативни опсег звучног притиска –



децибел скала. Скала звучног притиска са 1:1000000 смањује се коришћењем децибела, на нивое звучног притиска од 0 до 120 dB. Референтни ниво (праг чујности) представља 0, док максималан ниво је 120 dB.

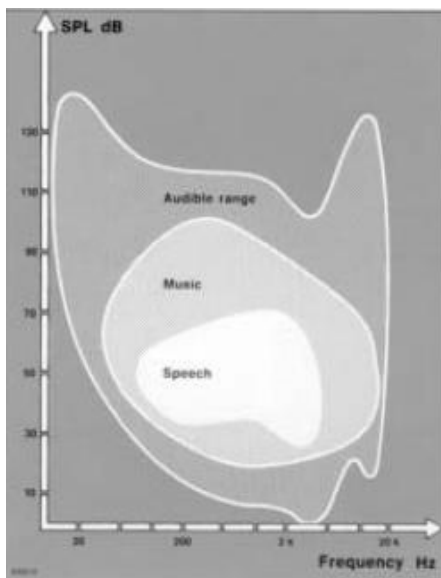
Децибел (dB) се карактерише као десетострука вредност логаритма за основу 10 односа између две величине снаге. Погодна скала за мерење звука (буке), с обзиром да је снага везана са квадратом звучног притиска, представља ниво звучног притиска, SPL:

$$SPL = 10 \log \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right) = 20 \log \frac{p}{p_0}, \text{ dB} \quad (1.5)$$

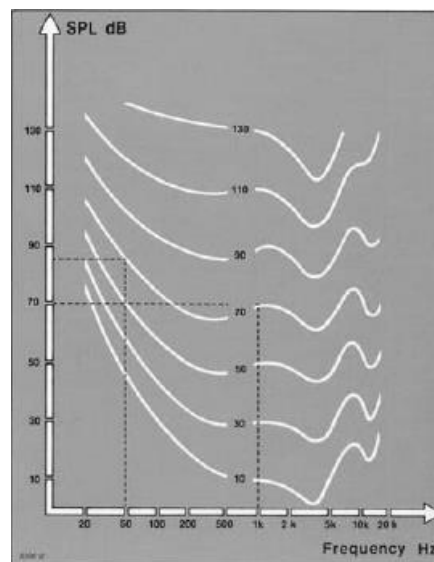
где су: p – измерени звучни притисак и $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa – референтни звучни притисак.

На слици 5, дат је приказ подразумеваног опсега фреквенција од 20 Hz до 20 kHz код здравог, младог људског уха. Пошто је звук дефинисан као промена притиска коју може да чује људско ухо, чујни звуци се у смислу нивоа звучног притиска налазе у опсегу од прага чујности на 0 dB до прага бола изнад 130 dB.

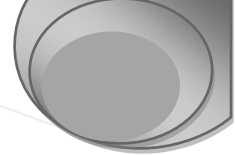
Пошто је људско ухо најосетљивије на звуке између 2 и 5 kHz, а мање осетљиво на ниже и више фреквенције, долази се до закључка да људско ухо није подједнако осетљиво на свим фреквенцијама. То је изражено на ниским нивоима звучног притиска више него на високим, а на слици 6 је дат приказ фамилије контура исте јачине звука. Оне показују који је ниво звучног притиска потребан на било којој фреквенцији, како би се добила иста јачина, као јачина тона од 1 kHz. Тако, на пример, да би тон дао исту субјективну (опажајну) јачину (одређује се преко низа комплексних фактора, од којих је један људско ухо) од 50 Hz, мора бити виши за 15 dB од тона од 1 Hz нивоа 70 dB. [5]



Слика 5 – Област чујности људског уха [5]



Слика 6 – Криве једнаке јачине звука [5]



Иако повећање звучног притиска од 6 dB представља дуплирање звучног притиска, потребно је повећање од 10 dB да би звук субјективно изгледао дупло јачи. Најмања промена коју човек може да чује је 3 dB.

1.2 Бука возила у саобраћају

Познато је да људима бука смета, слика 7, и зато смањење буке од друмског саобраћаја заузима специјално место у активностима смањења утицаја окружења на човека. [6]



Слика 7 – Бука у саобраћају изазива сметње код људи

Бука коју производи друмски саобраћај при кретању константом брзином зависи од:

- + брзине возила,
- + структуре саобраћајног тока,
- + природе површине пута,
- + топографије терена,
- + метеоролошких услова и
- + позадинске буке.

Моторна возила на путевима стварају буку:

- + радом погонског система (извори буке¹ су: мотор, издувни систем и систем за хлађење) и

¹Извор буке (енгл. “noise source”) је објекат или средство (пут, моторно возило), чија употреба или деловање проузрокује сталну или повремену буку у животној средини.



- ✚ кретањем (извори буке су: приањање између пнеуматика и тла при котрљању, отпор ваздуха и утицај неравнина коловоза на возило и терет).

На површини пута, утицај котрљања пнеуматика постаје значајан приликом кретања возила брзинама већим од 30 kmh^{-1} за путничка возила и 40 kmh^{-1} за теретна возила, а доминантан је при брзинама већим од 50 kmh^{-1} . На основу истраживања, ниво буке коју произведе рад мотора возила при брзинама од 30 до 50 kmh^{-1} има значајну улогу у урбаним срединама, а на аутопуту се тај извор буке може занемарити [2].

Једно теретно возило производи буку као 8 до 10 путничких аутомобила. За утврђивање утицаја тешких возила на укупан ниво саобраћајне буке треба поћи од чињенице да је бука пропорционална $10\log Q$, где је Q - проток возила на час у оба смера. Исто тако, еквивалентни ниво буке, изражен у dB(A), првенствено зависи од саобраћајног оптерећења и структуре саобраћајног тока [2]:

$$L_{ef} = 30 + 10\log Q(1 + 0,1n) \quad (1.6)$$

где су:

L_{ef} - еквивалентни ниво буке,

Q - саобраћајно оптерећење,

n - проценат теретних возила у саобраћају.

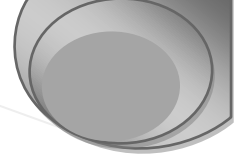
У зависности од врсте коловозне конструкције, дозвољене брзине саобраћајног тока и уздужног нагиба улице, овај ниво се додатно коригује.

Од посебног значаја за саобраћајну буку је спољашња бука возила у различитим ситуацијама, као што је: бука возила при празном ходу, бука возила које стоји или бука возила у покрету, која је санкционисана одговарајућим законским прописима. Утицај буке на околину је порастао, са све већим степеном моторизације, упркос смањивању дозвољених граница.

Људско ухо може чути само део звучних фреквенција, а и на оне на које је способно да региструје – различито реагује. Доминанти извори буке код путничких и теретних возила су погонска јединица и контакт површине тла са пнеуматикама. Већ у раној фази развојног процеса код возила треба размишљати о спољашњој буци која треба да се разбије на појединачне изворе, што захтева модификације на појединачним компонентама возила. Већина предузетих мера на возилу биле су: у јединици мотор-мењач, на усисном и издувном систему. Даље снижавање спољашње буке путничких аутомобила биће могуће само ако се узме у обзир бука од интеракције између пнеуматика и тла. [6]

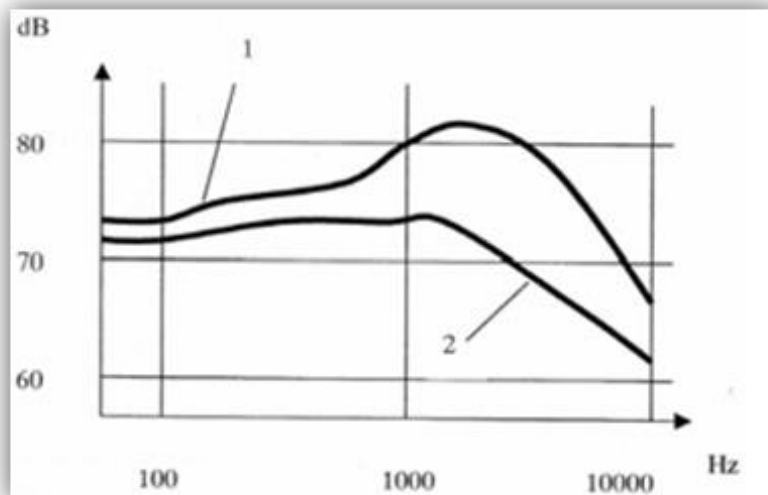
1.3 Бука погонског система возила

Мотор СУС је сложен систем који емитује буку, која је резултат симултаног дејства више различитих извора побуде, од којих су најважније:



- бука сагоревања,
- механичка бука и
- бука усисавања и издувавања).

На слици 8, дат је дијаграмски приказ утицаја врсте мотора (дизел или бензински) на интензитет буке, где се види да дизел мотор ствара већу буку изражену у dB(A) од бензинског мотора. Пошто најзначајнији извор буке мотора представља процес сагоревања, ефекти сагоревања на нивоу буке код дизел и бензинских мотора зависе од притиска у цилиндру. Код бензинских мотора, паљење је иницирано од свећице од које се постепено шири док се целокупна смеша не упали, а код дизел мотора је паљење спонтано и знатан обим смеше горива и ваздуха сагори екстремно брзо, услед чега је бука дизел мотора већа за око 10 dB(A). Интензитет буке сагоревања је директно пропорционалан брзини пораста притиска у комори мотора. [2]



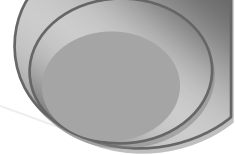
Слика 8 - Утицај врсте мотора на интензитет буке: 1. Дизел мотор, 2. Ото мотор [2]

На интензитет буке сагоревања мотора утичу следећи фактори:

- оптерећење мотора (на празном ходу, углавном само механичка бука),
- закон сагоревања (детонација код бензинских мотора и ударно сагоревање код дизел мотора),
- врста мотора (дизел мотор има већу брзину пораста притиска у II фази процеса сагоревања),
- врста коморе дизел мотора - дизел мотор са директним убризгавањем и запремински образовањем смеше има неповољнији закон сагоревања (изражена II фаза бурног сагоревања).

Механичка бука мотора настаје због:

- 1) међусобног судара делова при анулирању зазора:



- ✚ удара клипа о цилиндар (при пролазу кроз спољашњу мртву тачку – СМТ и промени стране ослањања),
- ✚ у лежајевима коленастог вратила, лежајевима мале и велике песнице клипњаче,
- ✚ вентила о седиште у глави и брега о подизаче или клацкалице, итд.

2) трења:

- ✚ клипа у цилиндру, рукаваца у лежајевима, итд.

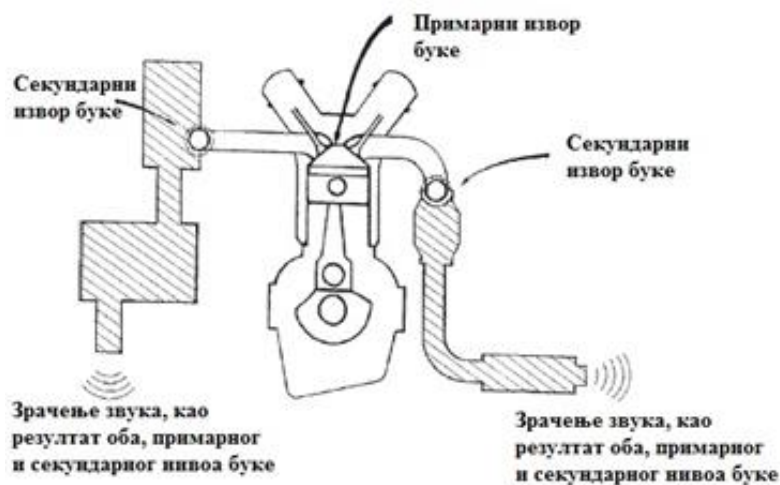
3) рада помоћних уређаја:

- ✚ пумпе високог притиска,
- ✚ развода снаге на помоћне уређаје (ланац, каиш и др.),
- ✚ вентилатора система хлађења,
- ✚ пумпе за уље, алтернатора, торзионог пригушивача итд.

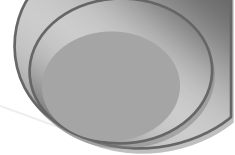
Бука услед рада усисних и издувних система мотора може да се класификује на следећи начин [9]:

- ✚ примарна – бука услед нестабилног масеног протока кроз вентиле, који изазива осцилације притиска у цевоводу које пропaгирају до усисног отвора (или издувне цеви),
- ✚ секундарна - бука која се ствара у току струјања течности кроз усисни и издувни систем (ова самоиндукована бука се обично назива бука протока) и
- ✚ бука омотача – звук који емитује структура усисних или издувних цеви побуђен било примарним било секундарним изворима буке.

Када се анализира звук снимљен на усисном отвору (или на издувној цеви), изузетно је тешко разликовати који звук долази од примарних, а који од секундарних извора буке, слика 9 [9]. Постоји заблуда да је примарна бука тонска и садржи претежно нискофреквентне компоненте фреквенције основног циклуса (што је тачно), док је бука протока хаотична, широкопојасна и већином високофреквентна (што није тачно). У стварности, бука протока у усисном и издувном систему ће вероватно бити тонска са нискофреквентним и високофреквентним компонентама.

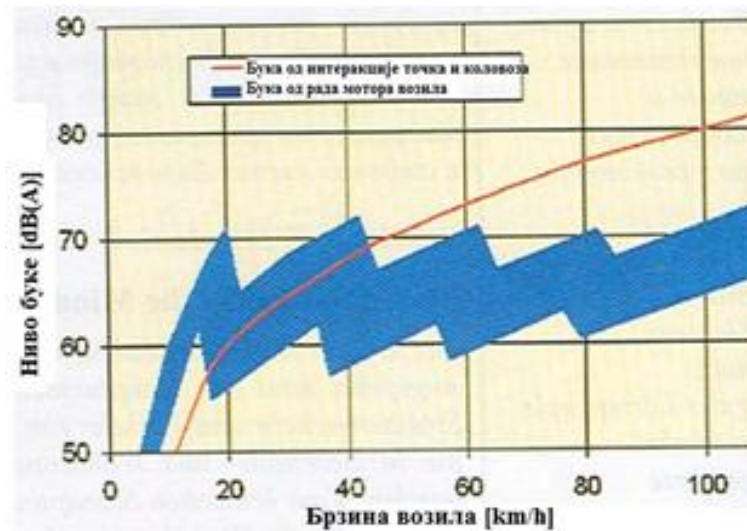


Слика 9 – Примарни и секундарни извори буке код усисног и издувног система [9]



1.4 Бука пнеуматика

Бука пнеуматика је, поред буке мотора, доминантан извор спољашње буке возила. На слици 10 је дат приказ односа буке од интеракције пнеуматика и коловоза и буке од рада мотора возила. Примећује се да, приликом кретања моторног возила брзином од 40 kmh^{-1} , већи утицај на ниво буке има рад мотора, а приликом кретања возила брзинама већим од 50 kmh^{-1} , доминацију преузима бука од интеракције пнеуматика и коловоза. [2]



Слика 10 - Однос буке интеракције пнеуматика и коловоза и рада мотора [2]

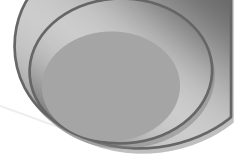
Постоје нека неслагања око извора спољашње буке пнеуматика. Највише пажње су привукла два механизма генерисања буке пнеуматика:

- бука генерисања пумпањем ваздуха кроз шаре пнеуматика и шупљине на путу у току трајања контакта пнеуматика и тла – бука пумпања ваздуха и
- бука генерисана вибрацијама у пнеуматику услед контакта са тлом.

Највероватније објашњење зашто се сумња у механизме генерисања буке пнеуматика је у томе што оба механизма могу бити значајна у зависности од:

- дизајна пнеуматика и шаре,
- површине пута и
- брзине кретања пнеуматика.

На слици 11, илустровани су главни механизми генерисања буке пнеуматика:



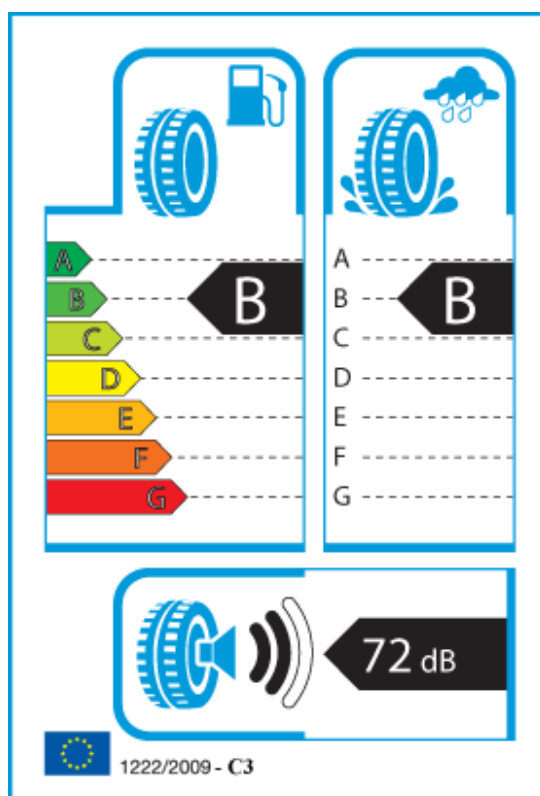
Слика 11 – Механизми генерисање буке пнеуматика [7]

На возилима, пнеуматици морају бити декларисаних димензија од стране произвођача возила, у зависности од највеће конструктивне брзине кретања возила и највеће дозвољене масе возила. Исто тако, према једнообразним техничким условима, пнеуматици морају бити хомологовани. Према стандарду ISO 362–1, дубина шаре пнеуматика може имати значајан утицај на резултате мерења спољашње буке возила. Из тог разлога је дефинисано да минимална дубина шаре на пнеуматику мора бити најмање 80% од пуне дубине шаре.

Бука пнеуматика је доминирала нивоима буке поред пута изазваним кретањем возила великим брзинама, а у скорије време је почела да утиче на тестове убрзања при малим брзинама, приликом одобравања типа пнеуматика. Као резултат тежње за смањењем нивоа буке пнеуматика, усвојене су ЕС директиве које постављају ограничења интензитета буке за различите типове пнеуматика, при хомологацији пнеуматика. Од новембра 2012. године, сви нови произведени пнеуматици у Европској унији морају на себи имати налепницу са ознаком нивоа спољашње буке котрљања пнеуматика израженом у dB, слика 12. [8]

Пошто већини људи нису блиске вредности у децибелима, на налепници је приказана и класа буке, помоћу црних звучних таласа. Овим се бука смешта у категорије према европским ограничењима за буку пнеуматика:

- ✚ 1 црни талас – 3 dB или више испод европске граничне вредности (тиши) ,
- ✚ 2 црна таласа – између европске граничне вредности и 3 dB ниже (просечни)
и
- ✚ 3 црна таласа – изнад европске граничне вредности (бучнији).



Слика 12 – Налепница за пнеуматике произведене у Европској Унији са ознаком нивоа спољашње буке пнеуматика [8]

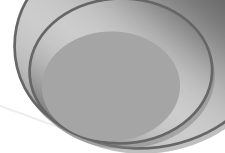
Поређења мерења буке у близини и далеко од пнеуматика који се котрља указују да [9]:

- ✚ највише буке се генерише близу контактне површине између пнеуматика и тла,
- ✚ интензитет звука је највећи на улазним и излазним крајевима отиска пнеуматика,
- ✚ излазни крај отиска пнеуматика је значајан за тонске компоненте буке пнеуматика и
- ✚ бок пнеуматика није значајан извор звука.

1.5 Мере за смањење буке возила

Данашња моторна возила су 90% мање бучна од возила из 1970-их година, када су формирана прва законска ограничења буке возила, што говори о посвећености аутомобилске индустрије да производи мање бучна возила.

Разматрање буке возила је комплексно, пошто звук које производи возило потиче од многих компоненти возила и интеракције возила са ваздухом и подлогом. Прорачун и примена мера за смањења буке возила је изазов и зато што се нивои звука приказују на логаритамској скали. То значи да смањење буке за 3 dB(A), представља,



у ствари, смањење од 50%. Напорима аутомобилске индустрије, бука које генерише просечно путничко возило је смањена са 82 dB(A) на мање од 74 dB(A) данас. Нова законска ограничења ће вероватно ову границу померити још наниже, тако да укупно смањење буке возила буде скоро 99%.

Постоји забринутост да, ако возила постану посебно тиха, то ће утицати на безбедност, пошто пешаци можда неће моћи да чују возило које прилази. Уз повећање коначних трошкова сваке јединице за смањење буке, аутомобилска индустрија наглашава значај уравнотежавања користи релативно у односу на инвестиције потребне за њихову реализацију [10].

Уколико се приликом испитивања буке неког конкретног моторног возила установи да је она изнад допуштених граница одређених прописима, емитована бука се мора смањити. Први корак је пронаћи најинтензивније изворе буке на возилу, после чега се бука може смањити на два начина [11]:

- 1) деловањем на извор буке са циљем његовог утишавања и
- 2) изолацијом извора буке.

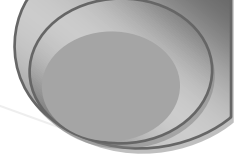
Обично, она решења која користе комбинацију оба ова начина представљају најбоља решења. На основу параметара возила у погледу звучне изолације, разликују се категорије и класе возила: удобнија возила су увек она која су тиша, али и скупља. Смањење интензитета емитоване буке се обично односило на путничке аутомобиле и аутобусе, али све више и на друга комерцијална возила.

Мере за смањење буке на моторном возилу спроводе се на три места: на извору буке, у систему преноса буке и на каросерији. На извору се смањује бука мотора, уисног система, издувног система и вентилатора, код којих се тежи смањивању осцилаторних сила. Пренос буке се спречава применом технике изолације извора буке од околног простора, док смањење буке мерама на каросерији обухвата редукцију осетљивости на вибрације кабине возила уз употребу панелних плоча [2].

Код захтевнијих купаца, за додатну звучну изолацију моторних возила се користе посебно дизајнирани комплети опреме. Комплет за изолацију најгласнијих извора буке (мотор и систем преноса снаге) уграђен на камиону, слике 13 и 14, доводи до смањења буке са недопуштеног нивоа на ниво испод максималних граница које су прописане законом, тј. одговарајућим правилником о хомологацији.

Истраживања су показала да се смањење спољашње буке пнеуматика може постићи корекцијама дизајна пнеуматика, као што су [9]:

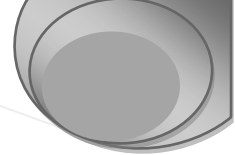
- ✚ смањење крутости ткања,
- ✚ коришћење мекше гуме за ткање да би се смањио удар блока ткања на предњи крај отиска пнеуматика,
- ✚ избегавање напрезања у блоковима ткања ради смањења тангенцијалних вибрација на задњем крају отиска пнеуматика,
- ✚ избегавање попречних жљебова у ткању ради смањења утицаја резонанци у акустичким шупљинама и
- ✚ обезбеђење фреквентне модулације буке на пнеуматику селективним постављањем елемената ткања разних величина.



Слика 13 – Комплет делова за звучну изолацију погонске групе мотора припремљен за уградњу у теретно возило [11]



Слика 14 – Погонска група мотора комерцијалног возила пре уградње (лево) и након уградње (десно) делова за звучну изолацију [11]



2. Мерење спољашње буке возила стандардним методама

Мерење представља скуп активности чији је циљ добијање вредности мерне величине (физичке величине). Значај мерења као практичне техничке делатности је од првенственог значаја како у свакодневном животу, тако и у свим подручјима привреде и науке. Мерење одређених параметара захтева и коришћење одговарајуће методе и примерене опреме. На резултат мерења утичу и спољни фактори па их је зато потребно одржавати на константном нивоу.

Данас у свету, поготово у развијеним индустријским земљама у проучавању буке су постигнути велики резултати. Многе мерне методе су разрађене, као и инструменти за мерење и анализу и методе њиховог ефикасног санирања на нивоу усвојених прописа.

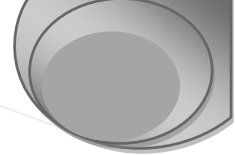
Бука возила (аутомобила, аутобуса и камиона) је веома раширена и утиче на свакодневни живот људи. Савремена возила морају да буду конструисана тако да задовоље строге стандарде из области безбедности и емисије издувних гасова, као и из области дозвољених нивоа буке. Сва возила на тржишту Европске Уније морају да испуне захтеве више прописа из области буке да би осигурала да задовољавају наведене нивое буке при продаји на овом тржишту. Многе европске земље налажу и редовне провере нивоа емитоване буке у току животног века возила.

Провера емитованих нивоа буке обавља се мерењима која омогућавају прецизну, научну анализу буке. Данас постоје прописи и стандардне методе мерења буке које емитују возила на међународном и националном нивоу. У овом поглављу ће бити укратко приказани међународни и европски стандарди и прописи, као и правна регулатива Републике Србије који третирају проблематику спољашње буке возила и методологију њеног мерења. Такође, биће дат кратак приказ уређаја за мерење интензитета емитоване буке возила.

2.1 Међународни прописи из области мерења спољашње буке возила

Међународна организација за стандардизацију, ISO (енгл. *International Organization for Standardization*), је светска федерација националних тела за стандардизацију. Рад на припремању међународних стандарда одвија се кроз техничке комитете ISO. Свака чланица заинтересована за предмет који је основао технички одбор има право да делегира своје представнике у тај комитет. Међународне организације, владине и невладине, у сарадњи са ISO, такође учествују у раду. ISO уско сарађује и са Међународном електротехничком комисијом, IEC (енгл. *International Electrotechnical Commission*), о свим питањима стандардизације у области електротехнике.

Међународна организација за стандардизацију (ISO) и њен Технички комитет 43 (ISO/TC 43) баве се глобалним проблемима акустике у више од 200 објављених стандарда. Објављени и важећи ISO стандарди везани за емитовање буке моторних возила су следећи:



- ✚ **ISO 362-1:2015** - Мерење буке коју емитују возила при убрзању – Инжењерска метода – Део 1 - М и N категорије,
- ✚ **ISO 362-2:2009** - Мерење буке коју емитују возила при убрзању – Инжењерска метода – Део 2: Категорија L,
- ✚ **ISO 5128:1980** – Мерење буке у унутрашњости возила,
- ✚ **ISO 5130:2007** и **ISO 5130:2007/Amd 1:2012** – Мерење нивоа звучног притиска који емитује непокретно возило,
- ✚ **ISO 9645:1990** – Мерење буке коју емитују mopеди двоточкаши у покрету и
- ✚ **ISO 10844:2014** – Спецификација полигона за мерење буке друмских возила и њихових пнеуматика.

Следећи ISO стандарди у вези буке возила се налазе у фази развоја:

- ✚ **ISO/DIS 362-3** - Мерење буке коју емитују возила при убрзању – Инжењерски метод – Део 3 – Испитивање возила категорије М и N у затвореном простору и
- ✚ **ISO/FDIS 16254** – Мерење звука који емитују возила категорија М и N у стању мировања или при кретању малом брзином – Инжењерски метод.

У Европи, контрола спољашње буке возила спроводи се кроз процедуре хомологације типа возила. Сваки нови тип возила на тржишту мора да испуни захтеве објављене у законским одредбама. Економска комисија за Европу Уједињених нација (UNECE) донела је низ правилника у области буке возила:

- ✚ **UN/ECE R9** – Јединствене одредбе које се односе на хомологацију возила категорије L2, L4 и L5 у погледу буке,
- ✚ **UN/ECE R41** - Јединствене одредбе које се односе на хомологацију мотоцикала у погледу буке,
- ✚ **UN/ECE R51** - Јединствене одредбе које се односе на хомологацију возила која имају најмање четири точка у погледу њихове емисије буке и
- ✚ **UN/ECE R63** - Јединствене одредбе које се односе на хомологацију mopеда двоточкаша у погледу буке.

Још 1970. године, у тада Европској економској заједници, донета је **Директива 70/157/ЕЕС** којом су прописани дозвољени нивои буке за сва моторна возила која имају бар четири точка и максималну брзину кретања већу од 25 kmh^{-1} (аутомобиле, камионе, аутобусе). Ту не спадају возила која се крећу железничком пругом, пољопривредни трактори и возила за јавне радове. Усклађена је од стране законодавства држава чланица у односу на дозвољени ниво буке и издувни систем моторних возила и до данас је доживела неколико измена и допуна у домену граничних вредности буке моторних возила и метода мерења буке возила:

- ✚ 77/212/ЕЕС – замена категорија возила и увођење смањених граничних вредности буке,
- ✚ 81/334/ЕЕС - допуна методе мерења буке покретних и непокретних возила у циљу њиховог приближавања стварних условима рада,
- ✚ 84/372/ЕЕС – допуна методе мерења буке коју емитују возила високих перформанси и возила са аутоматским мењачима са ручним поништавањем у циљу њиховог приближавања стварних условима рада,



- ✚ 84/424/ЕЕС - замена граничних вредности нивоа буке нижим вредностима за све категорије возила,
- ✚ 92/97/ЕЕС – свеобухватна допуна смањењем граничних вредности нивоа буке за све категорије возила и побољшањем тест методе за возила са великом снагом мотора, јер тај тип возила се све више конструише тако да има виши однос снага мотора/маса возила, а крива која представља момент у функцији броја обртаја мотора је промењена да произведе већу погонску силу на малим бројевима обртаја, па су те нове конструкције повећале употребу степени преноса мењача у урбаном саобраћају и имале главни утицај на буку коју емитују механички делови у односу на буку пута,
- ✚ 2007/34/ЕЕС – увођење новог тест циклуса који приближава услове вожње стварним условима вожње (нови тест циклус је описан у Правилнику UN/ECE 51, амандмани серије 02).

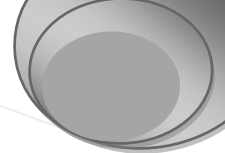
Активности које се спроводе широм Европе у циљу смањења буке у животној средини имају другачији приоритет у поређењу са еколошким проблемима попут загађења ваздуха и воде, често и због тога што се сматрало да се таква питања најбоље решавају на националном или локалном нивоу. И, пошто су временом информације о утицају буке на здравље људи све више постајале доступне, све је упечатљивија постајала и потреба за вишим нивоом заштите ЕУ држављана кроз шири оквир мера у целој Европи.

Након што је 2000. године усвојен предлог Комисије, Европски парламент и Савет Европе су 25. јуна 2002. године усвојили Директиву 2002/49/ЕЦ1 о процени и управљању буком у животној средини, која је позната и под називом „Environmental Noise Directive - END“. Директива END има за циљ да “дефинише општи приступ којим би се, на приоритетној основи, избегли, спречили или смањили штетни утицаји и сметње изазвани изложеношћу буке у окружењу”. У ту сврху се постепено спроводе одређене активности. Поред наведеног, ова Директива има за циљ и успостављање основе за развој ЕУ мера за смањење буке коју емитују главни извори, нарочито друмска и железничка возила и инфраструктура, ваздухоплови, екстерна и индустријска опрема и покретна механизација. [12]

Директива о процени и управљању буком у животној средини се односи на буку којој су изложени људи, нарочито у изграђеним подручјима, у јавним парковима или другим тихим подручјима у градским агломерацијама, у тихим областима у руралним срединама, у близини школа, болница и других објеката и подручја осетљивих на буку.

2.1.1 Мерење спољашње буке возила према ISO 5130: 2007 [13]

Овај међународни стандард садржи процедуру испитивања, окружење и мерну опрему потребну за мерење спољашњих нивоа звучног притиска **непокретних возила**, континуираним мерењем нивоа звучног притиска у ширем опсегу броја обртаја мотора. Примењује се само на категорије возила L, M и N опремљене моторима са унутрашњим сагоревањем.



Потребна мерна опрема

Мерач нивоа интензитета звука или еквивалентни мерни систем, укључујући и штитник од ветра, морају да задовоље захтеве инструмената класе 1 према IEC 61672-1.

На почетку и крају сваког мерења, цео мерни систем треба да се провери помоћу уређаја за калибрацију који задовољава захтеве уређаја за калибрацију звука класе 1 према IEC 60942. Без додатног подешавања, разлика између читавања две узастопне провере треба да буде мања или једнака 0,5 dB.

Број обртаја мотора треба да се мери инструментом који задовољава границе тачности од најмање $\pm 2\%$ при бројевима обртаја захтеваним за извршење мерења.

Акустичко окружење, метеоролошки захтеви и бука у позадини

Погодан полигон за мерење треба да буде напољу и да садржи равну површину од бетона, асфалта или сличног тврдог материјала, без снега, траве, трагова земље, пепела или другог материјала који апсорбује буку. Околина мора да буде отворен простор без великих рефлектујућих површина, као што су паркирана возила, зграде, дрвеће, жбуње, паралелни зидови, људи, итд. на полупречнику од 3 m око позиције микрофона и возила. Као алтернатива мерењу изван лабораторије, може се користити полу-глува комора.

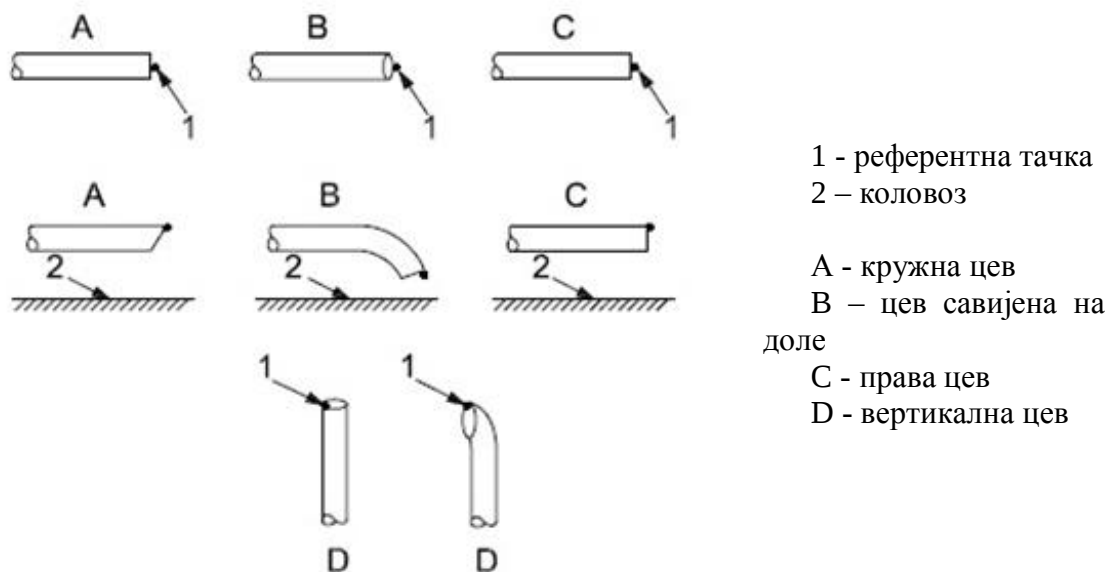
Мерења не треба вршити уколико брзина ветра прелази 5 ms^{-1} у току интервала мерења интензитета звука.

Читавања на мерним инструментима настала од амбијенталне буке и ветра треба да буду најмање 10 dB испод А-пондерисаног нивоа звучног притиска који треба да се мери. На микрофон се може поставити одговарајући заштитник од ветра, под условом да се узме у обзир његов утицај на осетљивост мерача нивоа звука.

Процедура теста

Мењач возила треба да буде у неутралном положају, а спојница укључена или у паркинг позицији код аутоматских мењача, при чему је укључена паркинг кочница из сигурносних разлога.

Микрофон се поставља на растојању од $0,5 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ од референтне тачке од издувне цеви, као што је приказано на сликама 15 и 16, под углом од $45^\circ \pm 5^\circ$ у односу на вертикалну раван која садржи осу протока на крају цеви. Микрофон треба да буде на висини референтне тачке, али не мање од 0,2 m изнад површине земље. Референтна оса микрофона треба да лежи у равни паралелној површини земље и њен правац треба да буде ка референтној тачки на издувној грани.



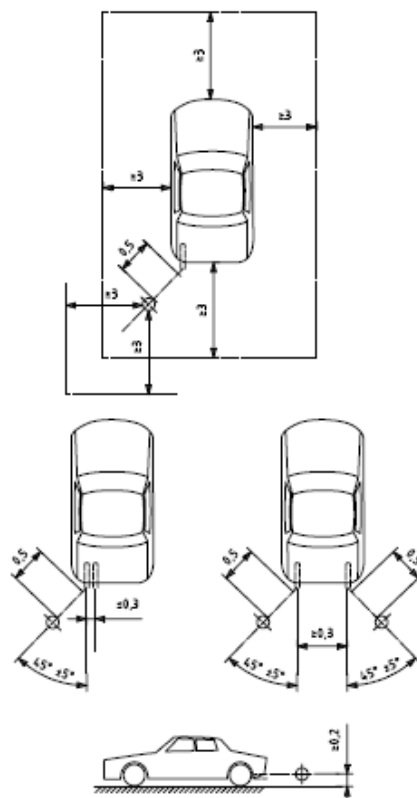
Слика 15 – Положај референтне тачке за мерење буке издувавања [13]

Ако су могуће две позиције микрофона, треба користити позицију бочно најдаљу од подужне осе возила. Ако је оса издувне цеви под углом од 90° у односу на подужну осу возила, микрофон треба поставити у тачки најдаљој од мотора.

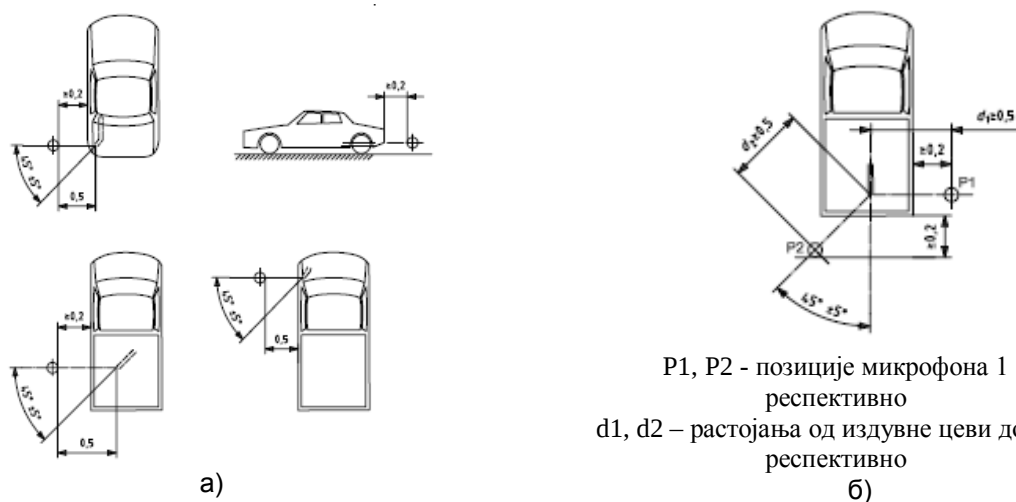
Ако возило има две или више издувних цеви, на растојању мањем од 0,3 m, које су везане за један пригушивач, треба одрадити само једно мерење. Микрофон треба поставити релативно у односу на излаз најдаље цеви у односу на подужну осу возила или, ако такав излаз не постоји, у односу на излаз који је на највећој висини од тла. Код возила која имају издувни систем са излазима на удаљењу већем од 0,3 m, ради се једно мерење за сваки излаз, као да је једини, а записује се највиши ниво звучног притиска.

Код возила са вертикалним издувним системом (нпр. комерцијалних возила), микрофон се поставља на висини излаза издувног система. Његова оса треба да је вертикална и оријентисана навише. Треба да се постави на растојању од $0,5 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ од референтне тачке издувне цеви, као што је приказано на слици 15, али не ниже од 0,2 m од стране возила најближе издувном систему.

Код возила код којих је недоступна референтна тачка на издувној цеви или је лоцирана испод возила, као на слици 17 а) и 17 б), због присуства препрека које чине део возила (нпр. резервни точак, резервоар за гориво, одељак за акумулатор), микрофон се поставља на најмање 0,2 m од најближе препреке, укључујући и каросерију возила, а његова оса максималне осетљивости треба да је уперена ка излазној цеви са позиције коју најмање заклањају горе поменуте препреке.



Слика 16 – Позиције постављања микрофона при мерењу спољашње буке путничког возила према ISO 5130:2007 [13]

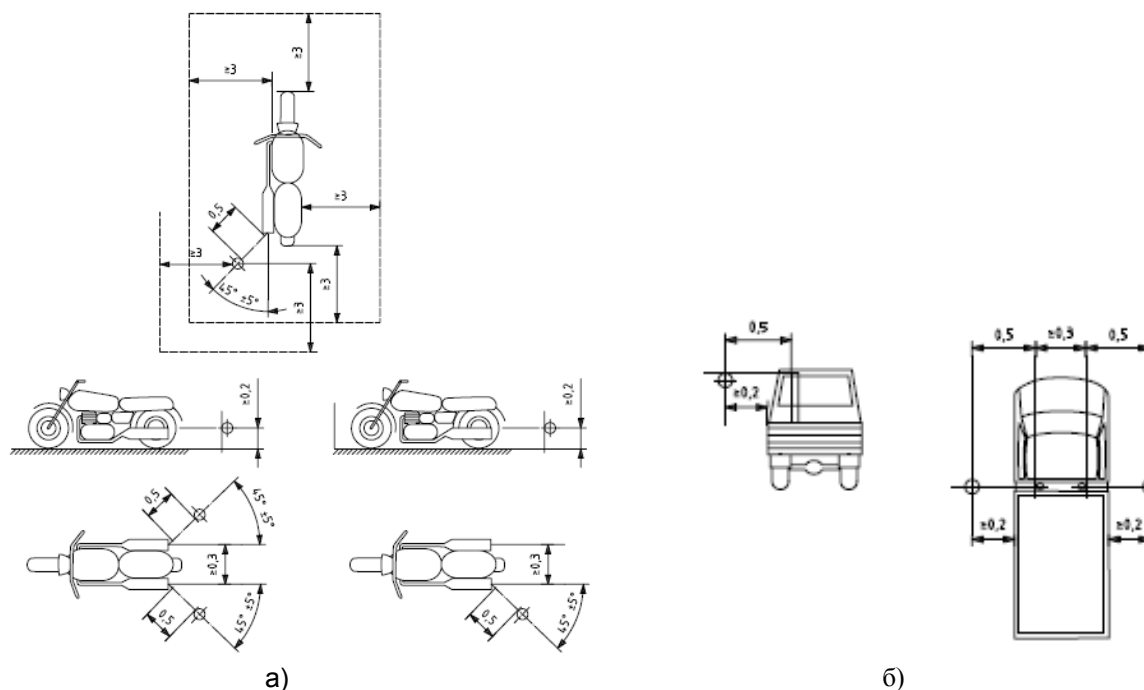


P1, P2 - позиције микрофона 1 и 2, респективно
d1, d2 – растојања од издувне цеви до P1 и P2, респективно

Слика 17 – Позиције постављања микрофона при мерењу спољашње буке путничког возила према ISO 5130:2007 када је референтна тачка недоступна [13]

Када су на располагању више позиција, као на слици 17 б), треба користити позицију микрофона која даје најмању вредност за d_1 или d_2 .

Слика 18 а) и 18 б) показује примере позиција микрофона, зависно од локације издувне цеви.



Слика 18 – Позиције постављања микрофона при мерењу спољашње буке возила према ISO 5130 зависно од локације издувне цеви [13]

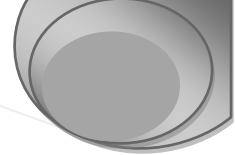
Број обртаја мотора

Ако возило не може да постигне број обртаја из Табеле 1, циљани број обртаја треба да буде 5% испод могућег максималног броја обртаја за тест непокретног возила.

Табела 1 – Број обртаја мотора при мерењу буке возила према ISO 5130:2007 [13]

Категорија возила	Циљани број обртаја мотора при тесту
L	75% номиналног броја обртаја, n , за возила са $n \leq 5000 \text{ min}^{-1}$ са толеранцијом $\pm 5\%$
	50% номиналног броја обртаја, n , за возила са $n > 5000 \text{ min}^{-1}$ са толеранцијом $\pm 5\%$
M, N	75% номиналног броја обртаја, n , за возила са $n \leq 5000 \text{ min}^{-1}$ са толеранцијом $\pm 5\%$
	3750 min^{-1} за возила са номиналним бројем обртаја 5000 $< n < 7500 \text{ min}^{-1}$ са толеранцијом $\pm 5\%$
	50% номиналног броја обртаја, n , за возила са $n \geq 7500 \text{ min}^{-1}$ са толеранцијом $\pm 5\%$

Број обртаја мотора треба постепено повећавати од празног хода до циљаног броја обртаја и држати га константним. Тада треба нагло отпустити педалу гаса и број обртаја треба да се врати до броја обртаја празног хода. Ниво звучног притиска се мери током периода константног броја обртаја од најмање 1 s и током целог процеса



успоравања до празног хода. Као вредност мерења узима се максимална измерена вредност.

Мерења

Записује се максимални А-пондерисани ниво звучног притиска измерен током теста, заокругљен до прве значајне цифре пре децималног места (нпр. 92,4 се заокругљује на 92, док 92,5 се заокругљује на 93).

Тест се понавља све док се на сваком излазу издувног система остваре три узастопна мерења која се не разликују за више од 2 dB.

Резултат за дати излаз издувног система је аритметичка средина три валидна мерења, математички заокругљена као што је описано изнад.

За возила опремљена са више издувних цеви, као резултат се узима вредност нивоа звучног притиска за цев која има највећу просечну вредност нивоа звучног притиска.

2.1.2 Мерење спољашње буке возила према ISO 362-1: 2015 [14]

Стандард ISO 362-1: 2015 садржи инжењерску методу за мерење буке коју емитују друмска возила категорија М и N при типичним условима градског саобраћаја.

Мерна опрема

Уређаји за мерење нивоа звучног притиска треба да буду мерачи нивоа звука или еквивалентни мерни системи који задовољавају услове инструмената класе 1 према IEC 61672-1. Цео мерни систем треба да се проверава путем калибратора за звук који испуњава услове уређаја за калибрацију класе 1 према IEC 60942.

На почетку и на крају сваког мерења, цео мерни систем треба да се провери уређајем за калибрацију. Без даљег подешавања, разлика у читавању мора да буде мања или једнака од 0,5 dB.

Број обртаја мотора треба да се мери инструментом који испуњава границе спецификације тачности са најмање $\pm 2\%$ при броју обртаја захтеваном у току мерења. Брзина возила треба да се мери инструментима који задовољавају границе спецификације тачности од најмање $\pm 0,5 \text{ kmh}^{-1}$ коришћењем мерних уређаја за континуирано мерење.

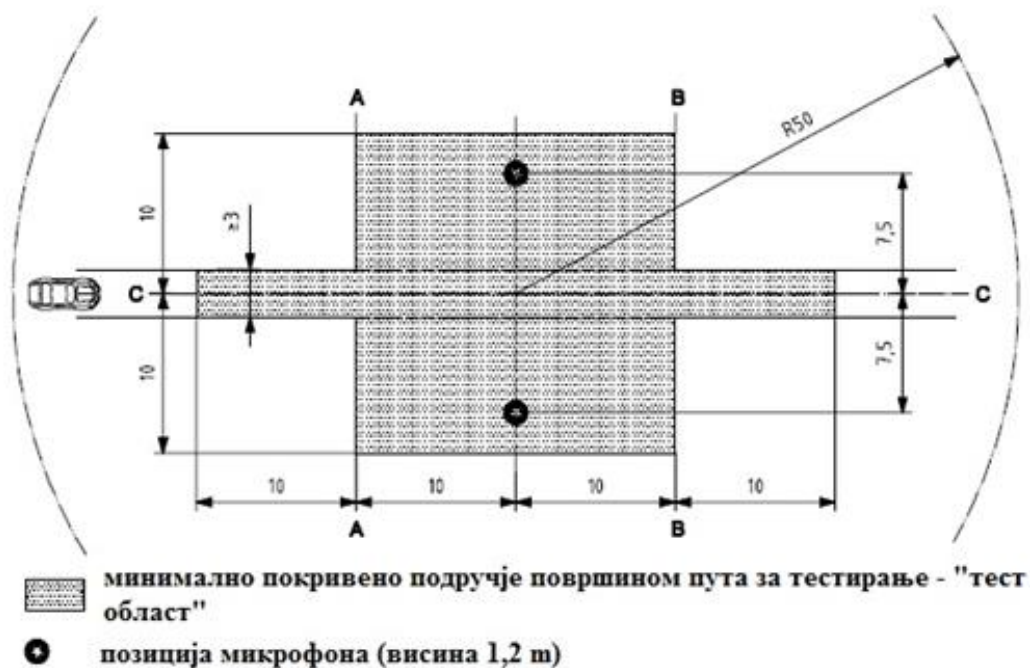
Уређаји за метеоролошка мерења коришћени за контролу услова окружења током теста треба да задовоље следеће спецификације тачности:

- ✚ најмање $\pm 1^\circ \text{C}$ за уређај за мерење температуре,
- ✚ најмање $\pm 1 \text{ ms}^{-1}$ за уређај за мерење брзине ветра,
- ✚ најмање $\pm 5 \text{ hPa}$ за уређај за мерење барометарског притиска,
- ✚ најмање $\pm 5\%$ за уређај за мерење релативне влажности ваздуха.



Акустичко окружење, метеоролошки услови и бука у позадини

Терен треба да буде претежно раван. Дизајн и површина мерне деонице треба да задовољавају услове стандарда ISO 10844. Димензије мерне деонице приказане су на слици 19.



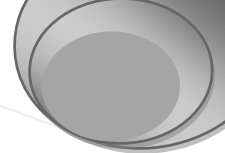
НАПОМЕНА: Осенчена поља ("тест област") су минимална област покривена коловозном површином у сагласности са стандардом ISO 10844

Слика 19 – Димензије тест деонице за мерење буке возила у покрету према ISO 362-1: 2015 [14]

У полупречнику од око 50 m од центра мерне деонице, простор треба да буде без великих објеката као што су ограде, камење, мостови или зграде. Деоница и површина пута треба да буду суви и без апсорбујућих материјала, као што су прашкасти снег или остатака крхотина. У близини микрофона, не треба бити препрека које би могле да утичу на звучно поље, а између микрофона и извора звука не треба да буде људи. Човек који мери треба да буде постављен тако да не утиче на читавања мерача.

Инструменти за мерење метеоролошких података треба да дају резултате репрезентативне за тест деоницу и треба да буду постављени уз тест деоницу на висини мерног микрофона. Мерења се одвијају када је температура околине у опсегу од 5°C до 40°C. Тестове не треба вршити ако је брзина ветра на висини микрофона већа од 5ms⁻¹ током времена мерења буке. У току мерења записују се вредности температуре, брзине и правца ветра, релативне влажности ваздуха и барометарског притиска.

Бука у позадини треба да се мери у току 10 s непосредно пре и после серије тестова. Мерења треба обавити са истим микрофонима и позицијама микрофона као током теста. Записује се максимални А-пондерисани ниво звучног притиска. Бука у



позадини (укључујући и буку ветра) треба да буде најмање 10 dB испод А-пондерисаног нивоа звучног притиска које производи возило током теста.

Процедура теста

Растојање од позиција микрофона на линији PP' до управне референтне линије CC', слика 14, на тест стази треба да буде $7,5m \pm 0,05m$. Микрофони треба да буду постављени на висини $1,2m \pm 0,02m$ изнад земље.

Тест возило треба да буде опремљено према спецификацијама произвођача. Пре почетка мерења, возило треба да се доведе до нормалних радних услова. Варијација резултата између два мерења може се смањити ако постоји пауза од 1 минута, на празном ходу у неутралном положају мењача, између два мерења.

Стандард ISO 362-1: 2015 садржи и радне услове, посебно за возила категорија:

- ✚ M1 и M2 са максималном дозвољеном масом која не прелази 3500 kg и категорију N1 (брзина кретања $50kmh^{-1} \pm 1kmh^{-1}$ при достизању линије PP')
- ✚ и посебно за возила категорије M2 максималне дозвољене масе веће од 3500 kg и категорије M3, N2 и N3 (брзина кретања $35kmh^{-1} \pm 5kmh^{-1}$ при достизању линије PP').

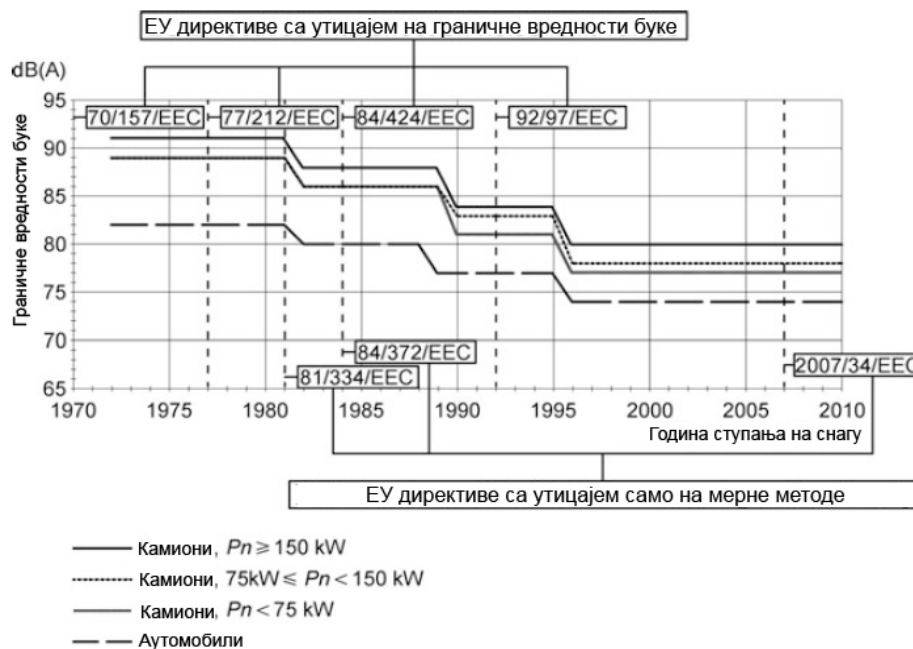
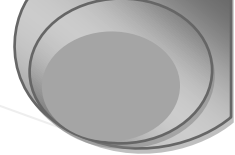
Очитавања и коначне вредности мерења

Треба обавити најмање 4 мерења за све услове теста са сваке стране возила и за сваки степен преноса. Записује се максимални А-пондерисани ниво звучног притиска током сваког пролаза возила између линија AA' и BB', слика 19, до прве значајне цифре иза децималне тачке (нпр. XX,X).

За прорачун одговарајућих коначних резултата, користи се првих 4 валидних узастопних мерења за било који услов теста. Измерене брзине возила при проласку преко линија AA', BB', PP' се записују и користе за прорачуне.

2.1.3 Мерење спољашње буке возила према Правилнику ЕУ 540/2014 [15]

Последња измена и допуна Директиве ЕУ 70/157/ЕЕС учињена је усвајањем Правилника ЕУ 540/2014, који је ставио дату директиву ван снаге. Од 1970. године, када је усвојена оригинална Директива ЕУ 70/157/ЕЕС, граничне вредности буке путничких возила су снижене за 8 dB(A), тешких камиона (снаге мотора веће од 150 kW) за 11 dB(A), а мотоцикала (зависно од снаге мотора) за 2 dB(A) – 6 dB(A). Такође, више пута су измењене и допуњене предвиђене процедуре за снимање нивоа спољашње буке возила, слика 20.



Слика 20 – Измене и допуне Директиве 70/157/ЕЕС [16]

Методе мерења и мерна опрема

Бука коју емитује возило при одобравању типа треба да се мери према две методе: на возилу у покрету и на непокретном возилу. За хибридна електрична возила код којих мотори са унутрашњим сагоревањем не могу да раде када возило стоји, емитовану буку треба мерити само на возилу у покрету.

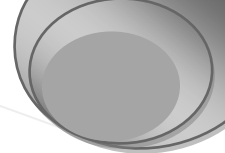
Возила која имају технички дозвољену масу терета већу од 2800 kg треба да прођу додатно мерење буке компримованог ваздуха при непокретном возилу.

Мерна опрема која се користи за мерење нивоа звука треба да буде или мерач нивоа звука или еквивалентни мерни систем који задовољава захтеве класе 1 инструмената према IEC 61672-1:2002. Мерења се одвијају уз коришћење одзива “fast” мерног инструмента и А-пондерисане криве, према IEC 61672-1:2002.

Број обртаја мотора треба да се мери са инструментима тачности од $\pm 2\%$ или боље, при бројевима обртаја захтеваним током мерења. Путна брзина возила треба да се мери инструментима тачности најмање $\pm 0,5 \text{ kmh}^{-1}$, када се користе уређаји за континуирано мерење.

Инструменти за метеоролошка мерења који се користе за праћење услова околине током теста треба да укључе следеће уређаје захтеване тачности од:

- ✚ најмање $\pm 1^\circ \text{C}$ за уређај за мерење температуре,
- ✚ најмање $\pm 1 \text{ ms}^{-1}$ за уређај за мерење брзине ветра,
- ✚ најмање $\pm 5 \text{ hPa}$ за уређај за мерење барометарског притиска,
- ✚ најмање $\pm 5\%$ за уређај за мерење релативне влажности ваздуха.



Услови мерења

Површина тест деонице и димензије полигона треба да буду у складу са стандардом ISO 10844:2011. Површина пута мора да буде чиста од растреситог снега, високе траве, крхотина или пепела.

У близини микрофона и извора звука не треба да постоје препреке које би могле да утичу на звучно поље. Посматрач који врши мерења треба да се постави тако да не утиче на читавања мерног инструмента.

Мерења не треба вршити у лошим временским условима. Треба осигурати да на резултате не утичу налети ветра. Опрема за мерење метеоролошких параметара треба да се постави поред тест деонице на висини од $1,2 \pm 0,02 \text{ m}$. Мерења се врше када је температура околине између $+5^\circ \text{C}$ и $+40^\circ \text{C}$. Тест не треба радити ако је брзина ветра на висини микрофона већа од 5 ms^{-1} . У току мерења се записују вредности температуре, брзине ветра, релативне влажности ваздуха и барометарског притиска.

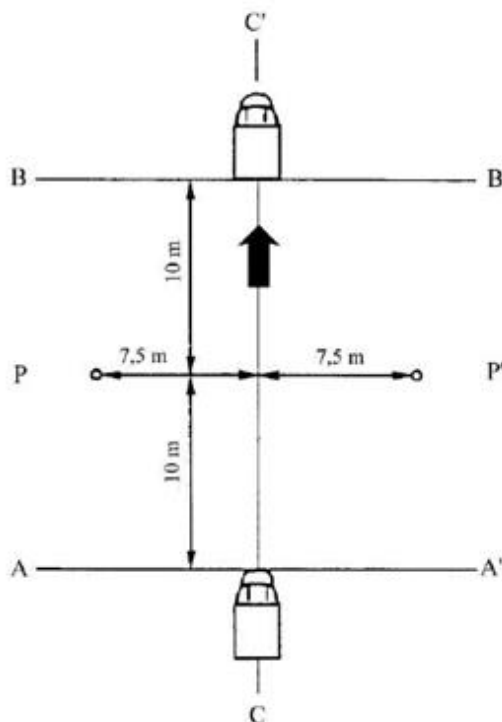
Бука у позадини се мери у току 10 s непосредно пре или после серија тестова. Мерења се врше са истим микрофонима постављеним на исте локације као у току теста. Записује се максимална А-пондерисана вредност нивоа звучног притиска. Бука у позадини мора бити најмање 10 dB испод А-пондерисаног нивоа буке које емитује возило при тесту.

Тест возило треба да буде репрезентативно за возила која излазе на тржиште и одабрано од стране произвођача према техничком упутству, да би задовољило захтеве Правилника ЕУ 540/2014. Возила морају да имају тест масу према табели коју наводи Правилник.

Мерење буке возила у покрету

На полигону треба означити двелиније, AA' и BB' , паралелне линији PP' на растојању од 10 m испред и 10 m од линије PP' , слика 21. Обавља се најмање 4 мерења са сваке стране возила и за сваки степен преноса. Микрофоне треба поставити на растојању $7,5 \text{ m} \pm 0,05 \text{ m}$ од референтне линије CC' , на висини од $1,2 \pm 0,02 \text{ m}$ изнад подлоге.

Правилник садржи и специфичне услове теста у погледу возила за категорија возила обухваћане правилником (путања кретања, рачунање убрзања, односа снага/маса возила, начин избора степена преноса за возила са мануелном и аутоматском трансмисијом, поставке теста убрзања и теста константне брзине).



Слика 21– Мерна места за мерење буке возила у покрету према Правилнику 540/2014 [15]

Мерење буке непокретног возила

За мерења се користи прецизни мерач нивоа звука или еквивалентни мерни систем.

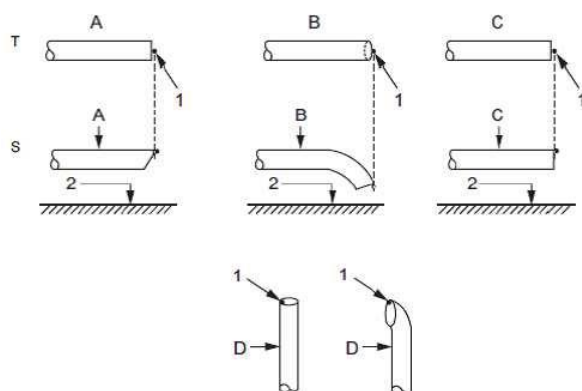
Полигон – локални услови треба да буду према сликама 22 и 23. У близини микрофона не треба да постоје препреке које могу да утичу на звучно поље, а између извора буке и микрофона не треба да се нађе ни оператер. Оператер треба да стоји тако да не утиче на читавања мерача.

Очитавања мерних инструмената везана за буку окружења и ветра треба да буду најмање 10 dB испод нивоа буке возила која се мери. На микрофон се може поставити одговарајући штитник против ветра, при чему треба узети у обзир његов утицај на осетљивост микрофона.

Мери се максимални А-пондерисани ниво звука у децибелима (dB(A)). Треба извршити најмање 3 мерења у свакој мерној тачки.

Возило се поставља у централни део полигона са мењачем у неутралном положају и укљученом спојницом. Ако дизајн возила ово не дозвољава, возило треба испитати према препорукама произвођача за испитивање непокретног мотора.

Пре сваке серије мерења, мотор се доводи у нормално радно стање, према упутству произвођача. Ако возило има вентилатор или вентилаторе са аутоматском контролом активације, тај систем не треба дирати током мерења нивоа буке. Поклопац мотора треба да буде затворен. Мерење буке у близини издувног система се обавља према сликама 22 и 23.



T – поглед одозго

S – бочни поглед

A – кружна цев

B – цев савијена надоле

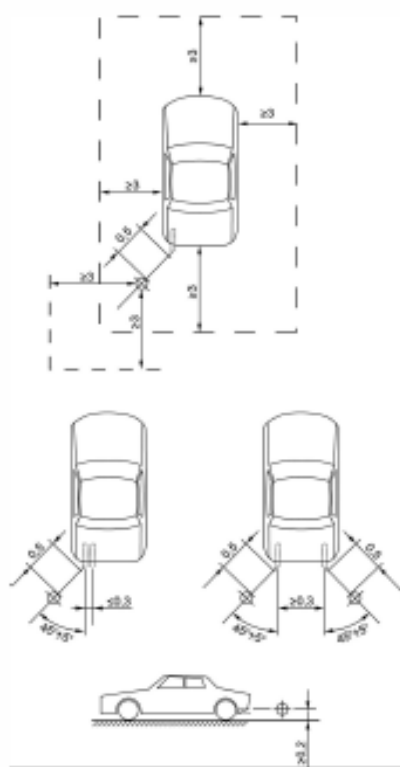
C – права цев

D – вертикална цев

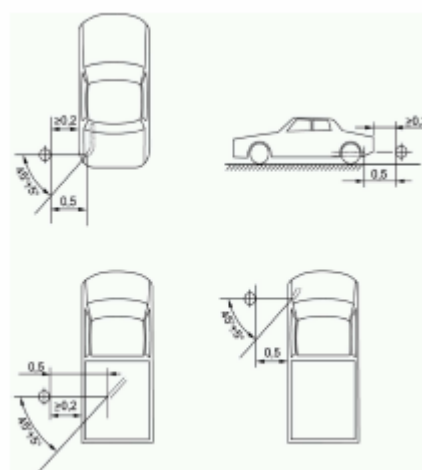
1 – референтна тачка

2 – површина пута

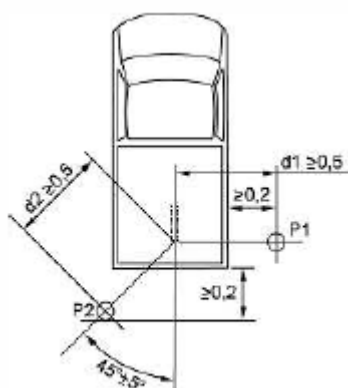
Слика 22 – Референтне тачке према Правилнику 540/2014 [15]



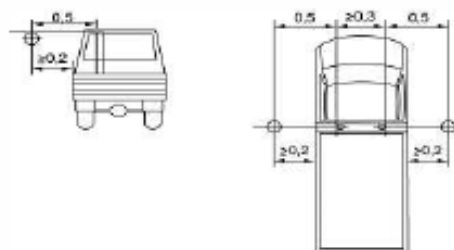
а)



б)

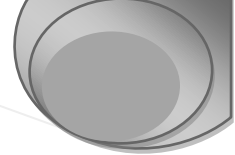


в)



г)

Слика 23 – Положај микрофона према Правилнику 540/2014 [15]



Микрофон треба да буде постављен на растојању $0,5m \pm 0,01m$ од референтне тачке на издувној цеви, слике 22 и 23, под углом од $45^\circ (\pm 5^\circ)$ у односу на осу краја издувне цеви. Микрофон треба да буде на висини референтне тачке, али не испод $0,2m$ висине изнад површине земље. Референтна оса микрофона треба да буде паралелна површини земље и усмерена ка референтној тачки на издувној цеви.

Ако су могуће две позиције микрофона, треба користити локацију најудаљенију бочно од подужне осе возила. Ако је оса издувне цеви под углом од 90° у односу на подужну осу возила, микрофон треба поставити у тачки која је најудаљенија од мотора. Код возила са издувним гранама на растојању већем од $0,3m$, мерења се врше за оба отвора издувних цеви. Записује се највиши ниво буке. Када су издувне цеви на растојању мањем од $0,3m$ и повезане на исти пригушивач, обавља се само једно мерење, а позиција микрофона је повезана за излаз најближи крајњој ивици возила или, када такав излаз не постоји, за излаз који је на највећој висини изнад земље.

Код возила са вертикалним издувним системом (нпр. код комерцијалних возила), микрофон се поставља на висини издувне цеви. Оса микрофона треба да буде вертикална и оријентисана на горе. Поставља се на растојању $0,5m \pm 0,01m$ од референтне тачке на издувној цеви, али никад ближе од $0,2m$ у односу на бок возила најближи издувном систему.

Код издувних цеви смештених испод пода возила, микрофон треба поставити на растојању од најмање $0,2m$ од најближег дела возила, у тачки најближој референтној тачки издувне цеви, али не ближе од $0,5m$, на висини од $0,2m$ изнад подлоге, али не у линији издувних гасова.

Број обртаја мотора треба да буде:

- ✚ 75% броја обртаја мотора за возила са максималним бројем обртаја $\leq 5000 \text{ min}^{-1}$,
- ✚ 3750 min^{-1} за возила са максималним бројем обртаја већим од 5000 min^{-1} и мањим од 7500 min^{-1} и
- ✚ 50% броја обртаја мотора за возила са максималним бројем обртаја $\geq 7500 \text{ min}^{-1}$.

Ако возило не може да ове постигне бројеве обртаја мотора, циљни број обртаја мотора треба да буде 5% нижи од максимално могућег броја обртаја мотора при стационарном тесту.

Број обртаја мотора треба постепено повећавати са празног хода до жељеног броја обртаја, уз толеранцију од $\pm 3\%$ у односу на жељени број обртаја, и држати број обртаја константним. Онда се педала гаса нагло отпушта и број обртаја мотора враћа на број обртаја при празном ходу. Мери се ниво звука током периода рада од $1s$ при константном броју обртаја и током периода успоравања. Као измерена вредност, узима се максимално показивање мерача нивоа звука током периода рада, математички заокружена на прву децималу.



Мерење се сматра валидним ако број обртаја мотора не одступи од жељеног броја обртаја за више од $\pm 3\%$ у току теста, за време од најмање 1 s.

Треба одрадити најмање 3 мерења за сваку мерну позицију, при чему се записује максимална вредност А-пондерисаног нивоа звучног притиска током сваког од три мерења. Прва три валидна узастопна мерна резултата у оквиру 2 dB(A), треба користити за одређивање коначног резултата за дату мерну позицију. Коначан резултат представљају максималне вредности нивоа звука у свим мерним позицијама и сва три мерна резултата.

Ниво буке возила изражен у dB(A), математички заокружен на ближу целобројну вредност, према Анексу II Правилника 540/2014, не сме да пређе вредности приказане у Табели 2.

Табела 2 – Граничне вредности интензитета буке возила према Правилнику 540/2014

Категорија возила	Опис категорије возила	Граничне вредности изражене у dB(A)		
		Фаза 1 примењива за нове типове возила од 01.07.2016.	Фаза 2 примењива за нове типове возила од 01.07.2020. и за прву регистрацију од 01.07.2022.	Фаза 3 примењива за нове типове возила од 01.07.2024. и за прву регистрацију од 01.07.2026.
M	Возила за превоз путника			
M ₁	однос снага мотора / маса $\leq 120\text{ kW} / 1000\text{ kg}$	72 ¹	70 ¹	68 ¹
M ₁	$120\text{ kW} / 1000\text{ kg} <$ однос снага мотора / маса $\leq 160\text{ kW} / 1000\text{ kg}$	73	71	69
M ₁	$160\text{ kW} / 1000\text{ kg} <$ однос снага мотора / маса	75	73	71
M ₁	однос снага мотора / маса $> 160\text{ kW} / 1000\text{ kg}$ број седишта ≤ 4 R тачка возачевог седишта $\leq 450\text{ mm}$ од земље	75	74	72
M ₂	маса $\leq 2500\text{ kg}$	72	70	69
M ₂	$2500\text{ kg} <$ маса $\leq 3500\text{ kg}$	74	72	71
M ₂	$3500\text{ kg} <$ маса $\leq 5000\text{ kg}$ снага мотора $\leq 135\text{ kW}$	75	73	72
M ₂	$3500\text{ kg} <$ маса $\leq 5000\text{ kg}$ снага мотора	75	74	72



Категорија возила	Опис категорије возила	Граничне вредности изражене у dB(A)		
		Фаза 1 примењива за нове типове возила од 01.07.2016.	Фаза 2 примењива за нове типове возила од 01.07.2020. и за прву регистрацију од 01.07.2022.	Фаза 3 примењива за нове типове возила од 01.07.2024. и за прву регистрацију од 01.07.2026.
	> 135 kW			
M ₃	снага мотора ≤ 150 kW	76	74	73 ²
M ₃	150 kW < снага мотора ≤ 250 kW	78	77	76 ²
M ₃	снага мотора > 250 kW	80	78	77 ²
N	Возила за превоз терета			
N ₁	маса ≤ 2500 kg	72	71	69
N ₁	2500 kg < маса ≤ 3500 kg	74	73	71
N ₂	снага мотора ≤ 135 kW	77	75 ²	74 ²
N ₂	снага мотора > 135 kW	78	76 ²	75 ²
N ₃	снага мотора ≤ 150 kW	79	77	76 ²
N ₃	150 kW < снага мотора ≤ 250 kW	81	79	77 ²
N ₃	снага мотора > 250 kW	82	81	79 ²

Граничне вредности треба да се повећају за 1 dB (2 dB(A) за категорије N₃ и M₃) код возила која испуњавају релевантну дефиницију теренских возила из тачке 4 дела А Анекса II Директиве 2007/46/EC.

За возила категорије M₁, повећане граничне вредности за теренска возила важе само ако је технички дозвољена максимална маса терета већа од 2 t.

Граничне вредности треба повећати за 2 dB(A) за возила са приступом за инвалидска колица и оклопна возила, по дефиницији из Анекса II директиве 2007/46/EC.

¹ Возила категорије M1 изведена из возила категорије N1: Возила категорије M1 са R тачком > 850 mm од земље и укупне дозвољене масе терета веће од 2 500 kg морају да испуне граничне вредности возила N1 (2 500 kg < маса ≤ 3 500 kg)

² + две године за нови тип возила и + једна година за регистрацију новог возила

2.1.4 Мерење спољашње буке возила према Правилнику UN/ECE R51 [17]

Правилник UN/ECE R51 садржи услове мерења буке коју емитују моторна возила и примењује се на возила категорије M и N. Спецификације овог Правилника су намењене репродукцији нивоа буке које генеришу возила током нормалне вожње у урбаним условима.

Правилник UN/ECE R51 садржи захтеве који су идентични одредбама Правилника EU 540/2014 и међународног стандарда ISO 362-1:2015 и то у



погледу: мерних инструмената, услова мерења, метода испитивања и дозвољених нивоа буке моторних возила, па то овде неће бити понављано.

2.2 Бука возила у прописима Републике Србије

Институт за стандардизацију Србије (ИСС) као национално тело за стандарде је усвојио сет стандарда из области буке коју емитују моторних возила, који су идентични са одговарајућим регионалним стандардима намењеним за Европску Унију (EN стандардима), европским стандардима заснованим на међународним стандардима (EN ISO стандардима) и на међународним (ISO) стандардима:

- ✚ **SRPS EN 1501-4:2009** - Возила за сакупљање отпада и њихови одговарајући уређаји за дизање - Општи захтеви и захтеви за безбедност - Део 4: Правило за испитивање буке за возила за сакупљање отпада
- ✚ **SRPS EN 1793-1:2013** – Системи за смањење саобраћајне буке на путевима — Методе испитивања за одређивање акустичких особина — Део 1: Основне карактеристике апсорпције звука
- ✚ **SRPS EN 1793-2:2013** – Системи за смањење саобраћајне буке на путевима — Методе испитивања за одређивање акустичких особина — Део 2: Основне карактеристике изолације од ваздушног звука у условима дифузног звучног поља
- ✚ **SRPS EN 1793-3:2008** – Уређаји за смањење саобраћајне буке – Методе испитивања за одређивање акустичке перформансе - Део 3: Нормализовани спектар саобраћајне буке
- ✚ **SRPS EN 1793-6:2013** – Системи за смањење саобраћајне буке на путевима — Методе испитивања за одређивање акустичких особина — Део 6: Основне карактеристике – Вредности изолације од ваздушног звука у условима директног звучног поља на лицу места
- ✚ **SRPS EN ISO 11819-1:2012** - Акустика – Мерење утицаја коловозних површина на буку од саобраћаја - Део 1: Статистичка метода мерења буке при пролазу возила (ISO 11819-1:1997)
- ✚ **SRPS ISO 362-1:2015** – Мерење буке коју емитују друмска возила при убрзавању – Инжењерска метода - Део 1: М и N категорије
- ✚ **SRPS ISO 5128:2015**- Акустика – Мерење буке унутар моторних возила

„Правилник о подели моторних и прикључних возила и техничким условима за возила у саобраћају на путевима“ [18] третира проблематику буке моторних возила у свом члану 78. Према овом члану, највише границе спољне дозвољене буке мерене у лабораторијским условима коју поједине врсте возила смеју производити су, Табела 3:



Табела 3 - Највише границе спољне дозвољене буке за поједине врсте возила [18]

Категорија возила	Највиша граница дозвољене буке у dB(A)
Возила на два точка	
L1	81
L3 са двотактним моторима радне запремине до 125 cm ³	85
L3 са моторима радне запремине преко 125 cm ³	87
L3 са четворотактним моторима радне запремине до 125 cm ³	85
L3 са четворотактним моторима радне запремине од 125 cm ³ до 500 cm ³	87
L3 са четворотактним моторима радне запремине преко 500 cm ³	89
Возила са три точка	
L2, L4, L5	88
Моторна возила на четири или више точкова	
M1, K5a, L6 и L7	87
M2 и N1	88
M3, N2 и N3 и са мотором снаге до 147 kW	92
M3, N2 и са мотором снаге преко 147 kW	95

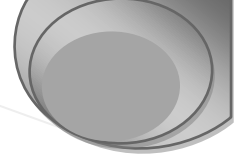
Према овом Правилнику, спољна бука се мери према методи мерења буке стационарног возила (возила у употреби) назначеним у једнообразним техничким условима. Одредбе овог Правилника се не односе на возила која су произведена, односно први пут регистрована пре 1. јануара 1972. године и на војна возила.

„Правилник о техничким и техничко-експлоатационим условима које морају испуњавати теретна возила и аутобуси којима се обавља међународни јавни превоз у друмском саобраћају“ [19] прописује техничке услове у погледу буке и емисије загађивача и техничко-експлоатационе услове у погледу безбедности које морају испуњавати теретна возила, прикључна возила и аутобуси, којима се обавља међународни јавни превоз у друмском саобраћају. Према овом правилнику, а сходно обезбеђеним Потврдама о испуњавању техничких услова у погледу буке и емисије загађивача, теретна возила се разврставају у једну од следећих категорија:

- ✚ "зелено" возило;
- ✚ "зеленије и безбедно" возило;
- ✚ "EVRO III безбедно" возило;
- ✚ "EVRO IV безбедно" возило;
- ✚ "EVRO V безбедно" возило;
- ✚ "EVRO EEV безбедно" возило;
- ✚ "EVRO VI безбедно" возило.

2.3 Уређаји за мерење спољашње буке возила

Технички посматрано, звук - бука настаје као последица промене притиска у ваздуху, која се јавља из правца извора звука. Зато се цело звучно поље може описати само мерењем звучног притиска. Сви остали акустички параметри могу се извести из



измереног притиска, тако да је, у пракси, притисак често једини параметар који се мери.

Људско ухо не осећа сваку фреквенцију звука са истом осетљивости. Као резултат, стварни нивои звучног притиска се прилагођавају тако да представљају типичну осетљивост људског уха. Најчешћа скала за оцену (пондерисање) је А – скала [20].

2.3.1 Давачи за мерење нивоа звука – микрофони

Микрофони су електро-акустички претварачи који су прилагођени раду у ваздуху. Микрофон претвара звучни притисак у електрични сигнал на свом излазу.

Уобичајени типови микрофона су [21]:

- ✚ **динамички** (електрични намотај повезан са мембраном креће се кроз електрично поље, генеришући напон пропорционална брзини покретног елемента),
- ✚ **пиезоелектрични** (сила звучног притиска која делује на мембрану се преноси на пиезоелектрични елемент који генерише наелектрисање пропорционално примењеној сили),
- ✚ **кондензаторски** или **капацитивни** (кретање мембране релативно у односу на непокретну ослону плочу изазива варијације капацитивности пропорционалне угибу мембране).

За инжењерска мерења и научна мерења нивоа звука, обично је потребна прецизност капацитивног микрофона. На слици 24, приказан је попречни пресек типичног капацитивног микрофона са детаљима механичких елемената.



Слика 24 - Основни елементи капацитивног микрофона [21]

Мембрана, као танак лим који се простире унутар кућишта и везује за кућиште микрофона, угиба се услед осцилација ваздушног притиска око атмосферског притиска. Ослона плоча од нерђајућег челика чини другу плочу кондензатора, чији се капацитет мења услед померања мембране при варијацијама звучног притиска.



Према врсти одзива у звучном пољу, постоје три типа микрофона:

- ✚ микрофони слободног поља,
- ✚ пресиони микрофони и
- ✚ кружни микрофони.

Микрофони слободног поља (енгл. “*freefield*”) се користе тамо где звук углавном потиче из једног правца, па се морају усмерити директно према извору буке у току мерења. Ова врста микрофона је погодна за мерења буке возила. Главна примена пресионих микрофона је за мерење у затвореним просторима, док се кружни микрофони користе при мерењу буке у ревербрационим коморама, у присуству дифузног звучног поља.

Микрофони се користе у разним окружењима у којима влажност ваздуха, температура и ветар могу да утичу на мерења. За смањење или отклањање ових утицаја, постоје различити додатни уређаји.

2.3.2 Фонометри

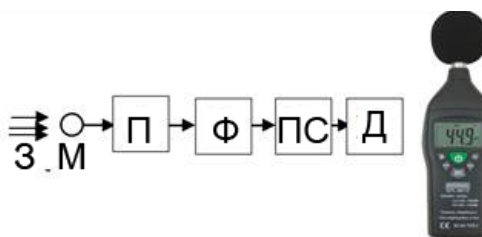
Чињеница да је људско ухо највише осетљиво на звуке у фреквентном опсегу од 1 kHz до 5 kHz, док се на нижим и вишим фреквенцијама, та осетљивост смањује, довела је до развоја неколико фреквентних функција за скалирање (пондерисање), које покушавају да имитирају осетљивост људског уха. Одзив људског уха на временски променљиве сигнале и импулсе довео је до развоја инструмената са дефинисаним временским функцијама оцене. Резултујућа мерна опрема је **мерач нивоа звука – фонометар**, дефинисан од стране међународног стандарда IEC 61672-1:2013.

Стандард IEC 61672-1:2013 дефинише три врсте мерних инструмената:

- ✚ фонометре са временским оцењивањем,
- ✚ интеграционе осредњавајуће фонометре и
- ✚ интеграционе фонометре.

Овај стандард наводи две категорије фонометара према перформансама: класу 1 и класу 2. Фонометар може бити самостални ручни инструмент са монтираним микрофоном и уграђеним показним екраном, а може бити састављен од појединачних компоненти у једном или више кућишта.

Основни функционални делови фонометра приказани су на слици 25.



Слика 25 - Функционална блок-шема фонометра
(З – звук, М – микрофон, П – појачивач са мрежом за скалирање, Ф – филтер, ПС – процесор сигнала, Д – дисплеј) [22]



Фонометар мери ниво звука који долази са микрофона. Сигнал се појачава и филтрира пре него што се на аналогном или дигиталном дисплеју појави бројна вредност нивоа звука. У зависности од особина инструмента, могу се бирати скале за пондерисање: А, В или С, које покушавају да имитирају одзив људског уха на звуке ниског, средњег и високог интензитета, респективно. Такође, може да се бира брз или спор одзив инструмента. [22]

На тржишту постоје многе врсте фонометара, али све раде на исти начин. Основни захтев за било који инструмент за мерење буке ја да не треба да буде исувише сложен, већ да буде лак за употребу и калибрацију. Типични фонометар треба да има могућност мерења dBA нивоа звучног притиска у dB(A) и нивоа звучног притиска у октавним појасевима. Новији фонометри имају могућност мерења еквивалентних нивоа буке и могућност статистичке обраде сигнала, слика 26. [22]



Extech



Solo



Bruel&Kjaer2250

Слика 26 – Савремени ручни фонометри



3. Методологија мерења спољашње буке возила у оквиру Лабораторије за моторна возила

У Лабораторији за моторна возила Факултета инжењерских наука постоји мерна опрема која омогућава мерење спољашње буке возила при тесту непокретног возила. Имајући у виду специфичности мерења, формирана је методологија мерења спољашње буке возила уз коришћење опреме расположиве у оквиру поменуте Лабораторије.

3.1 Предмет мерења

Мерење буке возила спада у испитивања утицаја возила на окружење и има велики значај у савременим условима повећања моторизације у свету.

Мерења буке се морају обављати на доследан начин, како би се утицаји екстерних фактора попут ефеката распростирања и позадинске буке свели на најмању могућу меру. Истовремено, услови мерења морају да буду репрезентативни у „нормалним“ ситуацијама, и за површину пута и за положај микрофона који симулирају нивое буке у окружењу.

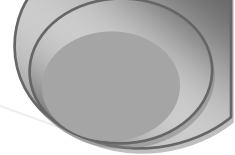
Предмет мерења, у оквиру експерименталних испитивања обављених користећи ресурсе Лабораторије за мотора возила Факултета инжењерских наука, било је одређивање интензитета спољашње буке возила Југо Флорида 1.3 EFI (пример на слици 27), при стационарном тесту. Испитивања су извршена на возилу као целини, примењујући одредбе стандарда ISO 5130:2007 везане за тестове непокретног возила.



Слика 27 – Возило Југо Флорида

Основни подаци о возилу Југо Флорида 1.3 EFI, релевантни за мерење спољашње буке возила, су:

- ✚ врста возила: M1
- ✚ број обртаја при максималној снази: 5600 min⁻¹.



3.2 Мерне величине и начин њиховог мерења

Мерне величине које је потребно мерити при мерењу спољашње буке возила непокретног возила према ISO 5130: 2007 су:

- ✚ ниво интензитета звучног притиска (главна мерна величина) и
- ✚ број обртаја мотора (помоћна мерна величина – потребан услов извођења теста).

За мерење спољашње буке возила коришћен је прецизни интеграциони фонометар Brüel&Kjær 2230 [23], слика 28 а), на који је монтирани кондензаторни микрофон Brüel&Kjær 4155, слика 28 б).

За контролу постигнутог броја обртаја мотора, коришћен је фабрички уграђен обртомер возила Југо Флорида 1.3 EFI.

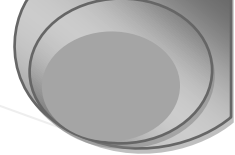


Слика 28 – Опрема за мерење буке: а) прецизни интеграциони фонометар Brüel&Kjær 2230, б) микрофон Brüel&Kjær 4155

Фонометар Brüel&Kjær 2230 припада мерним уређајима класе 1 према ИЕС стандарду, са толеранцијом мерења од $\pm 0,7 \text{ dB}$ и намењен је за употребу у лабораторији и на терену. Може да мери, слика 29:

- ✚ **SPL** (енгл. “Sound Pressure Level”) - ниво звучног притиска, у границама 24÷130 dB (30÷150 dB са атенуатором),
- ✚ **Max** - максимални ниво звучног притиска од ресетовања,
- ✚ **Min** – минимални ниво звучног притиска од ресетовања,
- ✚ **Leq** – еквивалентни ниво звучног притиска осредњен по периоду мерења (одговара константном нивоу звучног притиска који би имао исту укупну акустичну енергију као реална снимљена бука у посматраном временском интервалу), једначина 3.1:

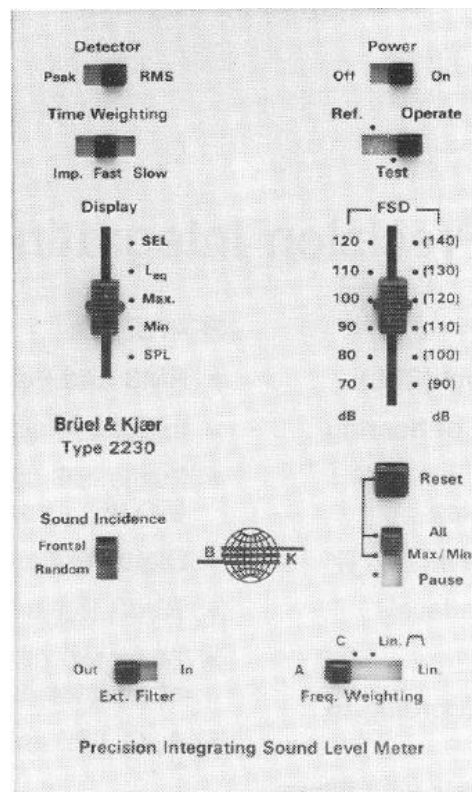
$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad (3.1)$$



где су: $p(t)$ временска функција звучног притиска, p_0 - просечна вредност најнижег звучног притиска који човек може да чује или референтни звучни притисак – праг чујности ($p_0 = 20 \mu Pa$) и T – временски интервал мерења.

- ✚ $L_{EA,T}$ (SEL, енгл. *Sound Exposure Level*) – константни ниво који, ако се задржи у току временског периода од $\tau_{ref} = 1s$, има исту акустичну енергију као и А-пондерисана измерена бука, једначина 3.2:

$$L_{EA,T} = 10 \log \frac{1}{\tau_{ref}} \int_0^T \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt, \quad \tau_{ref} = 1s \quad (3.2)$$



Слика 29 – Предњи панел уређаја Brüel&Kjær 2230 [23]

Свих пет поменутих променљивих се мере паралелно, па се пет вредности за исти звучних сигнал могу прочитати једна за другом.

Уређај Brüel&Kjær 2230 има следеће функције и особине:

- ✚ модове детектовања звука: “RMS” (квадратни корен из средње квадратне вредности) и “Peak” (вршна вредност),
- ✚ импулсно (“Impulse”), брзо (“Fast”) и споро (“Slow”) временско пондерисање,
- ✚ дигитални и квази-аналогни дисплеј (дигитални - четири цифре, резолуција 0,1 dB; квази-аналогни – опсег 60 dB, резолуција 2 dB),
- ✚ импулсни опсег 73 dB, опсег линеарности 70 dB,
- ✚ мерни опсег од 24 dB до 130 dB (са атенуатором од 30 dB до 150 dB) подељен на шест под-опсега који се преклапају,
- ✚ “A”, “C”, “Lin” и “Allpass” пондерисање.



Уређај се може подесити да ради у следећим модовима: “Operate” (нормални радни мод), “Test” и “Ref.”. “Test” служи за комплетну проверу дисплеја, укључивањем свих сегмената. У моду “Ref.”, референтни сигнал се шаље на улазни појачивач ради електричне калибрације фонометра (без употребе микрофона).

Прецизно снимање и записивање измерених нивоа звучног притиска постиже се преко АС излаза и DC излаза инструмента.

Микрофон Brüel&Kjær 4155 има линеарни фреквентни одзив који је погодан за мерење у условима слободног звучног поља, тј. за мерења у спољашњој средини. Фреквентни одзив микрофона може се електронски пондерисати да буде линеаран у дифузном звучном пољу, што је погодно за мерења у дифузном пољу. При мерењима треба изабрати одговарајући фреквентни одзив микрофона: „Frontal“ или „Random“.

У табели 4 су приказани мерни опсези инструмента при А-пондерисању, зависни од одабраног пуног опсега скале (“FSD”):

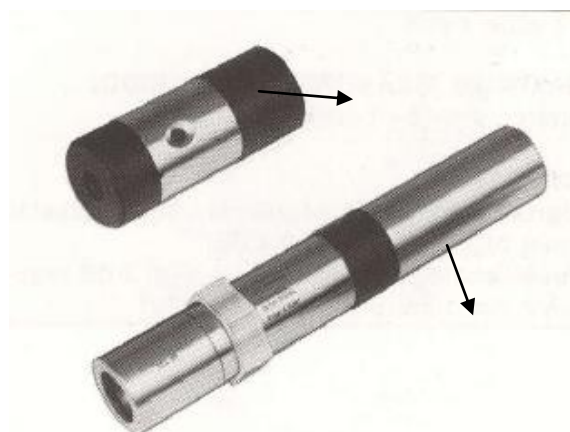
Табела 4 – Мерни опсези инструмента Brüel&Kjær 2230 [23]

FSD ¹	Доња граница мерног опсега при А-пондерисању
70	24
80	24
90	30
100	40
110	50
120	60
130 ²	70
140 ²	80

¹ Пун опсег скале на квази-аналогном дисплеју

² Само уз коришћење атенуатора ZF 0020

Калибрација комплетног инструмента се обавља коришћењем: 1) уређаја за калибрацију нивоа звука Brüel&Kjær 4280, 2) пистафона Brüel&Kjær 4220, слика 30, или 3) интерног референтног осцилатора уређаја.



Слика 30 – Уређаја за калибрацију нивоа звука Brüel&Kjær 4280 (1) и пистафон Brüel&Kjær 4220



У Табели 5 приказани су поступци калибрације прецизног интеграционог фонометра Briel&Kjaer 2230 помоћу пистафона Briel&Kjaer 4220 који поседује Лабораторија за моторна возила и помоћу унутрашњег референтног осцилатора самог инструмента.

Табела 5 – Калибрација прецизног интеграционог фонометра Briel&Kjaer 2230

Калибрација пистафоном В&К типа 4220		Калибрација унутрашњим референтним осцилатором	
Назив команде	Статус	Назив команде	Статус
POWER	«On»	POWER	«On»
REF.-OPERATE	«Operate»	REF.-OPERATE	«Ref»
FSD	«120»	FSD	неважно
Reset	«All» или «Max./Min.»	Reset	«All» или «Max./Min.»
FREQ. WEIGHTING	«Lin»	FREQ. WEIGHTING	неважно
EXT. FILTER	«Out»	EXT. FILTER	«Out»
SOUND INCIDENCE	неважно	SOUND INCIDENCE	«Frontal»
DISPLAY	«SPL»	DISPLAY	«SPL»
TIME WEIGHTING	«Fast»	TIME WEIGHTING	«Fast»
DETECTOR	«RMS»	DETECTOR	«RMS»

3.3 Начин уградње мерних инструмената

Прецизни интеграциони фонометар Briel&Kjaer 2230 је ручни уређај, па није неопходно постојање специјалних носача за постављање инструмента на мерну позицију. Алтернативно, може се користити одговарајући мерни сталак, слика 31.



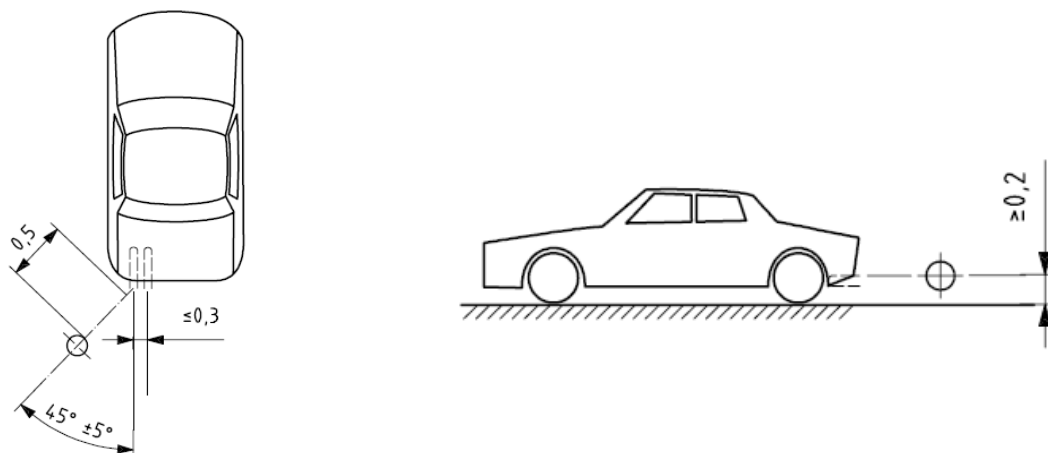
Слика 31 – Употреба мерног сталка за фонометар

Методологијом мерења је предвиђено да инструмент буде у руци оператера за време мерења, при чему је микрофон заштићен ветробраном од дејства издувних гасова и испарења.

Микрофон треба да буде постављен на растојању $0,5m \pm 0,01m$ од референтне тачке на издувној цеви, слика 32, под углом од $45^\circ (\pm 5^\circ)$ у односу на осу краја издувне цеви. Микрофон треба да буде постављен на висини референтне тачке, а



најниже на висини од 0,2 m. Референтна оса микрофона треба да буде паралелна површини земље и усмерена ка референтној тачки на издувној цеви.



Слика 32 - Позиција постављања микрофона при мерењу [4]

Позиција микрофона проверава се метром и угломером, као што је приказано на примеру са слике 33. [11]



Слика 33 - Пример одређивања позиције микрофона при мерењу спољашње буке возила [11]

3.4 Услови под којима треба да се обаве мерења

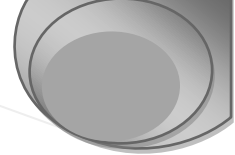
Мерења спољашње буке возила су извршена на полигону испред зграде Факултета инжењерских наука.

Мерења захтевају добре временске услове: температуру ваздуха у опсегу између $+5^{\circ}\text{C}$ и $+40^{\circ}\text{C}$, као и брзину ветра мању од 5 ms^{-1} .

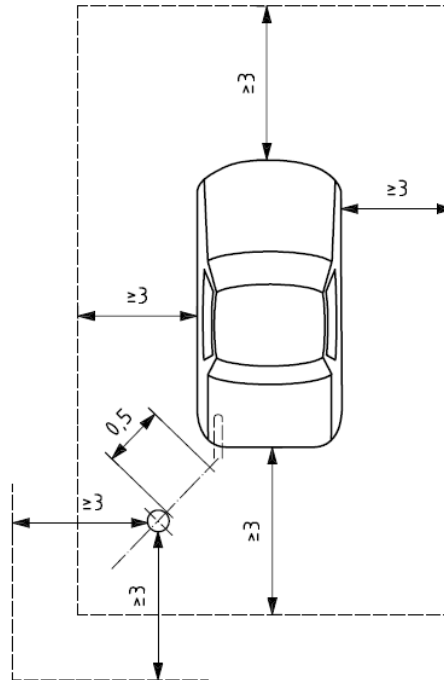
У близини микрофона и извора звука не треба да постоје препреке које би могле да утичу на звучно поље. Посматрач који врши мерења треба да се постави тако да не утиче на читавања мерног инструмента.

При мерењу буке непокретног возила, за мерење буке је потребно испунити следеће услове:

-  отворен простор за мерење,
-  возило се поставља у центар мерне области,



- ✚ не сме бити никаквих објеката у близини,
- ✚ бука околине мора бити најмање 10 dB (A) испод нивоа буке која се мери,
- ✚ ивице мерне локације треба да буду удаљене најмање 3 m од истурених делова возила, слика 34.



Слика 34 - Услови мерне локације [11]

3.5 Начин спровођења мерења и прикупљања резултата

После постављања возила Југо Флорида 1.3 EFI у центар мерне области, потребно је предузети следеће кораке:

- ✚ погонски мотор мора бити угрејан на радну температуру,
- ✚ мењач возила треба поставити у неутрални положај,
- ✚ спојница треба да буде укључена,
- ✚ мотор стабилизovati на 3750 min^{-1} (зато што је број обртаја мотора возила при максималној снази већи од 5500 min^{-1}), па затим нагло отпустити папучицу акцелератора,
- ✚ мерење вршити 1 s током постигнутог константног броја обртаја и током опадања броја обртаја мотора до броја обртаја при празном ходу,
- ✚ записати само највиши ниво звучног притиска при i -том мерењу, Max_i , у претходно припремљену табелу,
- ✚ обавити најмање три мерења и користити аритметичку средњу вредност, Max_{sr} , као коначан резултат мерења, према једначини 3.3:

$$Max_{sr} = \frac{Max_1 + Max_2 + Max_3}{3} \quad (3.3)$$



3.6 Начин приказивања резултата мерења

Предвиђено је да се резултати измерених максималних нивоа звучног притиска уписују у унапред припремљену табелу 6, у којој се уписује и средња вредност три мерења, као коначан резултат експеримента.

Табела 6 – Радна табела за уписивање резултата мерења

	Мерење 1	Мерење 2	Мерење 3	Средња вредност
Max, dB (A)				

У случају потребе да се резултати експеримента прикажу у облику опширнијег извештаја, Извештај о мерењу би требало да садржи следеће информације [13]:

- ✚ изјаву да је тест у сагласности са стандардом ISO 5130,
- ✚ окружење експеримента, услови подлоге и временски услови,
- ✚ тип мерне опреме, укључујући и штитник од ветра,
- ✚ А-пондерисан ниво буке у позадини типичан за буку у позадини,
- ✚ идентификацију возила, његовог мотора и мењача,
- ✚ општи опис положаја мотора и издувне цеви,
- ✚ положај и оријентацију микрофона,
- ✚ број обртаја мотора при коме је извршено мерење и
- ✚ А-пондерисани ново звучног притиска одређен при тесту.



4. Приказ и анализа резултата мерења

4.1 Попуњавање радне табеле

У табели 6 су приказани оригинални резултати три мерења спољашње буке возила Југо Флорида 1.3 EFI, као и заокружене бројне вредности мерења, према захтевима стандарда.

Табела 6 – Резултати мерења спољашње буке возила Југо Флорида 1.3 EFI

		Мерење 1	Мерење 2	Мерење 3	Средња вредност
Max, dB (A)	измерена вредност	83,2	83,8	82,0	83
	заокружена вредност	83	84	82	

4.2 Извештај о мерењу

Мерење спољашње буке возила обављено према методологији развијеној у Лабораторији за моторна возила Факултета инжењерских наука изведено је према захтевима стандарда ISO5130:2007.

Експеримент је обављен на полигону испред Лабораторије за моторна возила Факултета инжењерских наука. Подлога на којој је постављено експериментално возило је сув бетон у добром стању. Временски услови при мерењима задовољавају услов стандарда: време без падавина, температура у дозвољеном опсегу, без утицаја ветра (ветар занемарљиве јачине).

При мерењима је коришћен прецизни интеграциони фонометар Brüel&Kjær 2230 опремљен капацитивним микрофоном Brüel&Kjær 4155 и штитником против ветра Brüel&KjærUA 0237.

Ниво буке у позадини измерена на мерном месту износио је, типично, 52 dB(A).

Експеримент је вршен на возилу Југо Флорида 1.3 EFI које је опремљено бензинским мотором чији је број обртаја при максималној снази једнак 5600 min⁻¹ и ручним мењачем.

Мотор возила Југо Флорида 1.3 EFI смештен је напред попречно. Издувни систем се протеже до задњег дела возила, при чему је положај краја издувне цеви позади близу леве стране возила.

Микрофон је постављен на растојању 0,5 m од референтне тачке на издувној цеви, под углом од 45° у односу на осу краја издувне цеви (са дозвољеним толеранцијама), на висини референтне тачке.



Мерења су извршена при постизању равномерног броја обртаја мотора од 3750 min^{-1} , јер је број обртаја при максималној снази мотора од 5600 min^{-1} , већи од 5500 min^{-1} , као граничне вредности према стандарду.

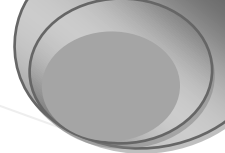
A-пондерисани ниво звучног притиска снимљен при тесту је 83 dB(A) .

4.3 Анализа резултата мерења

Коначна, средња вредност три извршена мерења нивоа спољашње буке возила Југо Флорида 1.3 EFI износи **83 dB(A)** .

Како највиша граница спољне дозвољене буке за врсту возила M_1 , према „Правилнику о подели моторних и прикључних возила и техничким условима за возила у саобраћају на путевима“ износи 88 dB(A) , закључује се да возило Југо Флорида 1.3 EFI **задовољава** домаће прописе о емисији буке.

Поређењем добијене вредности експериментом са граничним вредностима интензитета буке возила према Правилнику 540/2014, закључује се да возило Југо Флорида 1.3 EFI не би задовољило европске прописе о емисији буке за 2016. годину.



Закључак

Бука и вибрације представљају неизбежне пратиоце убрзаног техничко-технолошког развоја. У данашњем друштву се све више води рачуна о заштити од буке. Бука је озбиљно питање и један од најчешћих еколошких проблема. Значајне акције се спроводе на међународном плану са циљем смањења буке у саобраћају, за шта су усвојени или се припремају одговарајући технички прописи и међународни стандарди. Као пример једне такве акције је истраживачки пројект који је у израду (у Европи) “Noise Innovation Program Road Traffic”, покренут 2003. године у Холандији, који су иницирали Министарство саобраћаја и Министарство заштите животне средине. Прорачун пројекта износи 50 милиона евра, а поставио је следеће циљеве: смањење броја објеката који су изложени нивоу буке >70 dB за 100%, нивоу буке већим од 65 dB за 90% и нивоу буке већим од 60 dB за 50%, и то до 2030. године.

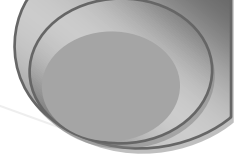
На основу мерења нивоа буке и саобраћајних параметара, као и њихове целокупне анализе примећено је да приступ појединачног анализирања сваког од њих и оцене њиховог доприноса на укупни ниво буке може често да наведе на погрешне закључке. Већина испитаника бучне зоне буку не везује са комшијском буком, већ преваходно са саобраћајном, наводећи да им је саобраћајна бука неподношљива, за разлику од контролне која се на исто питање изјашњава позитивно у занемарљивом броју (због мањег просечног нивоа комуналне буке и фреквенце саобраћаја).

У овом мастер раду је материја подељена у четири поглавља, између којих је успостављена логичка веза.

У оквиру уводних разматрања, објашњени су узроци настанка буке и вибрација као последице развоја интензивног развоја саобраћаја и показана историјска веза са нивоом технолошког развоја друштва. Најдоминантнији извор буке у Европи је бука од друског саобраћаја. Пошто је бука један од највећих проблема у непосредној човековој околини, европска аутомобилска индустрија велики део трошкова усмерава на побољшање особина возила везаних за емисију буке.

Концепт и значај спољашње буке возила у саобраћају представљени су у првом поглављу мастер рада, као и најзначајнији извори буке на возилу. Доминанти извори буке код путничких и теретних возила су погонска јединица и контакт површине тла са пнеуматичима. Напорима аутомобилске индустрије, бука које генерише просечно путничко возило је значајно смањена у односу на прве законске границе буке возила. Нова законска ограничења ће вероватно ову границу померити још ниже, тако да укупно смањење буке возила буде скоро 99%.

Друго поглавље мастер рада обрађује проблематику мерења спољашње буке возила стандардним методама, у складу са међународним, регионалним и националним прописима из области мерења спољашње буке возила. Међународна организација за стандардизацију (ISO) и њен Технички комитет 43 (ISO/TC 43) баве се глобалним проблемима акустике у више од 200 објављених стандарда. Економска комисија за Европу Уједињених нација (UNECE) донела је, такође, низ правилника у области буке возила, почев од Директиве 70/157/ЕЕС из 1970. године. Европски парламент и Савет Европе су 2002. године усвојили Директиву 2002/49/ЕЦ1 о процени и управљању буком у животној средини, која је позната и под називом



„Environmental Noise Directive - END“. Све стандардне методе за мерење буке возила садрже: потребну мерну опрему, акустичко окружење, метеоролошке захтеве и захтеве у вези буке у позадини, процедуре теста, начин спровођења мерења и интерпретације добијених резултата.

Институт за стандардизацију Србије (ИСС) као национално тело за стандарде је усвојио сет стандарда из области буке коју емитују моторних возила, који су идентични са одговарајућим регионалним стандардима намењеним за Европску Унију (EN стандардима), европским стандардима заснованим на међународним стандардима (EN ISO стандардима) и на међународним (ISO) стандардима. Такође, „Правилник о подели моторних и прикључних возила и техничким условима за возила у саобраћају на путевима“ дефинише границе спољне дозвољене буке моторних возила.

Основна мерна опрема потребна за обављање мерења спољашње буке возила обухвата микрофоне и фонометре који морају бити усклађени са захтевима за инструменте класе 1 према IEC 61672-1.

Треће поглавље мастер рада приказује методологију мерења спољашње буке возила у оквиру Лабораторије за моторна возила Факултета инжењерских наука. Мерења су изведена на возилу Југо Флорида 1.3 EFI, уз помоћ мерне опреме расположиве у Лабораторији за моторна возила – прецизног интеграционог фонометра B&K 2230. Дат је и приказ начина прикупљања резултата мерења.

Анализа резултата мерења и извештај са мерења приказани су у четвртом поглављу мастер рада. На основу мерења се наметнуо закључак да експериментално возило задовољава домаће прописе у вези висине буке, али не задовољава најновије европске границе емисије буке за возила.

Проблему спољашње буке у возилу мора се посветити већа пажња. Потребно је пратити пре свега ниво емитоване саобраћајне буке појединих категорија возила, континуално у дужем временском периоду (пар година) како би се могли заузети одговарајући ставови пре свега у погледу испуњења услова и стандарда које дефинише Европска Унија.

Исто тако на основу чињенице да положај мерног места буке у односу на саму саобраћајницу има значајан ефекат, већина модела аутомобила је осетљива на положај мерног места. Утицај растојања мерења буке није потребно посебно кориговати уколико се бука мери и утврђује у зони саме саобраћајнице. Али, ако се бука утврђује на неком растојању значајно различитим у односу на референтно растојање према коме је мерена вредност еквивалентног нивоа буке појединих категорија возила у проласку, то треба узети у разматрање.



Литература

- [1] KPMB International: "The Transformation of the Automotive Industry: The Environmental Regulation Effect", KPMG International Cooperative, 2010.
- [2] Вукашиновић, Р.: „Проблеми буке мотора и моторних возила“, Зборник радова II, pp. 139-150, ВТШСС Урошевац, 2013.
- [3] WHO/Europe: "Noise – Data And statistics", [приступљено: јуна, 2015.] <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/data-and-statistics>
- [4] den Boer, E., Schrotten, A.: "Traffic noise reduction in Europe - Health effects, social costs and technical and policy options to reduce road and rail traffic noise", Report, CE Delft, Netherlands, 2007.
- [5] Милорадовић, Д., Радоњић, Р., Тарановић, Д.: „Испитивање моторних возила и мотора 2“, Скрипта у електронском облику, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2013.
- [6] Babisch W.: "Road traffic noise and cardiovascular risk", *Noise & Health*, Vol. 10, No. 38, pp. 27-33, 2008.
- [7] "Noisy city roads get the silent treatment" [Приступљено: октобра 2015.] <http://www.epd.gov.hk/epd/misc/ehk99/home/english/ch6/p151.htm>,
- [8] "EU regulations on tyre" [Приступљено: новембра 2015.] <http://www.tyresonthedrive.com/advice/eu-tyre-labelling/>, 2012.
- [9] Harrison, M.: „Vehicle Refinement – Controlling Noise and Vibration in Road Vehicles“, SAE International, 2004.
- [10] ACEA – European Automobile Manufacturers Association: Noise reduction [Online] 2015. [Приступљено октобра 2015.] <http://www.acea.be/industry-topics/tag/category/noise-reduction>
- [11] Шилић, Ђ.: „Испитивање моторних возила“, Велеучилиште Велика Горица, Велика Горица, 2010.
- [12] „Directive 2002/49/EC of the European Parliament and the Council of June 2002“, Official Journal of the European Communities, 2002.
- [13] ISO 5130: 2007 „Acoustics Measurements of sound pressure level emitted by stationary road vehicles“, ISO, 2007.
- [14] ISO 362-1:2015: "Measurement of noise emitted by accelerating road vehicle – Engineering Method, Part 1: M and N categories", ISO, 2015.



- [15] “Regulation (EU) No 540/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on the sound level of motor vehicles and of replacement silencing systems, and amending Directive 2007/46/EC and repealing Directive 70/157/EEC Text with EEA relevance”, European Parliament and Council , 2014.
- [16] Muller, G., Moser, M. Eds.: “Handbook of Engineering Acoustics”, Springer , 2013
- [17] UN/ECE Regulation No. 51: “Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles having at least four wheels with regard to their noise emissions”, Addendum 50, Revision 2, UN/ECE, 2011.
- [18] „Правилник о подели моторних и прикључних возила и техничким условима за возила у саобраћају на путевима“ („Сл. Гласник РС“, бр. 40/2012, 102/2012, 19/2013, 41/2013, 102/2014, 41/2015 и 78/2015), 2015.
- [19] „Правилник о техничким и техничко-експлоатационим условима које морају испуњавати теретна возила и аутобуси којима се обавља међународни јавни превоз у друмском саобраћају“ („Сл. Гласник РС“, бр. 73/2013), 2013.
- [20] Д. Милорадовић, П. Тодоровић, Физичке штетности – Бука на радном месту, у Безбедност и здравље на раду – Књига 2 (уредници А. Јанковић, Б. Јеремић) , БЗР Едукациони центар, Машински факултет у Крагујевцу, 2009., pp. 457-502.
- [21] Wilson J. S.: „Sensor Technology Handbook“, Elsevier Inc., 2005.
- [22] Прашевић М., Цветковић Д.: Бука у животној средини, Факултет заштите на раду у Нишу, Ниш, 2005.
- [23] Brüel&Kjær: “Precision Integrating Sound Level Meter – Product Data Types 2230 and 2234”, Brüel&Kjær, Nerum Offset, Danmark, 2002.