

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: 391/2013

Дејан Р. Мутавцић **Мерење унутрашње буке возила** **Мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Доц. др Данијела Милорадовић - ментор**

2. _____

Датум одбране: _____

3. _____

Оцена: _____

У оквиру мастер рада, кандидат треба да проучи и систематизује препоручену, као и ширу литературу која се односи на проблематику мерења буке возила, посебно унутрашње буке возила. На бази усвојеног знања, кандидат треба да обради основне начине мерења унутрашње буке возила, као и стандардне методе мерења. На крају, треба да развије методологију мерења унутрашње буке возила имајући у виду ресурсе Лабораторије за моторна возила и прикаже и анализира добијене 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 5128: 1980 - Acoustics – Measurements of sound pressure level emitted by stationary road vehicles, ISO, 1980.
- [4] Harrison, M.: “Vehicle Refinement – Controlling Noise and Vibration in Road Vehicles”, SAE International, 2004.
- [5] Пантелић Милинковић, З., Јовановић, С., Марјановић, З.: „Развој акустике возила“, XXII конференција са међународним учешћем „Бука и вибрације“, Ниш, 2010.

Ментор:

Крагујевац, септембар 2017.

Данијела Милорадовић, доцент

Резиме

За унутрашњу буку возила су постављене законске норме, које треба да испуни произвођач возила. Значај и актуелност ове области развоја возила дати су у оквиру структуре рада. У оквиру мастер рада, приказани су: утицај нивоа интензитета буке у унутрашњости возила на путнике, изворе унутрашње буке возила и савремена законска ограничења у вези унутрашње буке возила. Исто тако, приказане су и мере за смањење унутрашње буке возила и побољшање акустичког комфора применом нових виброакустичких материјала и бољом акустичком обрадом возила. Посебна пажња је посвећена стандардима и правилницима везаним за унутрашњу буку возила, као и расположивим уређајима за мерење буке и начину њихове. Дат је ток снижавања граница буке возила, као последица промене законске регулативе. Приказан је и развој методологије мерења унутрашње буке возила у Лабораторији за моторна возила Факултета инжењерских наука, кроз опис: предмета испитивања, мерних величина и начина њиховог мерења, начина уградње мерних уређаја, режима рада, начина спровођења мерења и обраде резултата мерења и планираног начина приказивања резултата мерења. Приказани су и анализирани резултати мерења, и дати табеларно и дијаграмски. На крају је дат приказ закључака до којих се дошло у истраживањима везаним за тему мастер рада.

Кључне речи: возило, унутрашња бука, мерење, законски прописи

Abstract

There are legal regulations for vehicle interior noise, which have to be met by the vehicle manufacturers. Importance and actuality of this area of vehicle development are presented within the framework of this master thesis. Impact of the interior vehicle noise on vehicle occupants, sources of vehicle interior noise and modern legal restrictions on internal vehicle noise are also presented in this thesis. Likewise, measures to reduce the internal noise of vehicles and improve the acoustic comfort by applying new, vibroacoustic materials and improving the acoustic treatment of the vehicle. Special attention has been given to the standards and regulations related to the internal noise of the vehicle, and to devices for measuring noise and their use. A course of lowering the vehicle noise limits as a result of changes in legal regulations are presented. Development of methodology of measurement of vehicle internal noise in the Laboratory for motor vehicles of the Faculty of Engineering is given by description of: the subject of testing, measuring quantities and ways of their measurement, the mode of installation of measuring devices, operating regimes, the mode of implementation of the measurement and processing of the measurement results and the planned method of displaying the measurement results. Results of measurements are presented and analysed and given in the form of tables and diagrams. Finally, the specific conclusions that have been reached during studies related to the topic of the master thesis are given.

Keywords: vehicle, interior noise, measurement, legal regulations

САДРЖАЈ

САДРЖАЈ	1
1. УВОД	3
2. УНУТРАШЊА БУКА ВОЗИЛА	5
2.1 Компоненте унутрашње буке возила.....	8
2.1.1 Бука мотора возила	9
2.1.2 Бука усисног и издувног система возила.....	10
2.1.3 Бука у контакту пнеуматик-тло	10
2.1.4 Аеродинамичка бука возила	10
2.1.5 Бука при кочењу возила	11
2.1.6 Бука од шкрипе, звечања и подрхтавања у унутрашњости возила.....	12
2.2 Преношење буке кроз унутрашњост возила	12
2.3 Интензитет и спектар унутрашње буке возила.....	14
2.4 Мере за смањење унутрашње буке возила	15
2.4.1 Мере за смањење буке издувног и усисног система	17
2.4.2 Мере за смањење буке мотора.....	18
2.4.3 Мере за смањење буке система за пренос снаге мотора	19
2.4.4 Мере за смањење унутрашње буке возила која потиче из контакта пнеуматик-тло.....	20
2.4.5 Мере за смањење буке кочења	20
2.4.6 Употреба материјала за изолацију од буке.....	20
3. МЕРЕЊЕ УНУТРАШЊЕ БУКЕ ВОЗИЛА СТАНДАРДНИМ МЕТОДАМА	22
3.1 Мерење унутрашње буке возила у лабораторијским условима.....	22
3.1.1 Анехоична и полуанехоична комора	22

3.1.2 Реверберационе коморе	24
3.1.3 Алфа кабина	25
3.1.4 Кунтова цев	25
3.1.5 Мерење губитака у преносу звука.....	26
3.2 Субјективна оцена унутрашње буке возила	27
3.3 Стандарди за мерење унутрашње буке возила	29
3.3.1 Мерење унутрашње буке возила према стандарду ISO 5128:1980	30
3.4 Опрема за мерење унутрашње буке возила	36
3.4.1 Мерни микрофони	38
3.4.2 Мерила нивоа звука - фонометри.....	41
4.МЕТОДОЛОГИЈА МЕРЕЊА УНУТРАШЊЕ БУКЕ ВОЗИЛА У ОКВИРУ ЛАБОРАТОРИЈЕ ЗА МОТОРНА ВОЗИЛА	43
4.1. Предмет испитивања	43
4.2. Мерне величине и начин њиховог мерења	43
4.3. Начин постављања мерних инструмената	45
4.4. Режим рада	46
4.5. Поступак рада	46
4.6 Начин приказивања резултата мерења	46
5.ПРИКАЗ И АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА	47
6. ЗАКЉУЧАК	48
ЛИТЕРАТУРА.....	50

1. УВОД

У зависности од тога на који начин утичу на општу безбедност возила, параметри безбедности се групишу на: активне, пасивне и каталитичке параметре безбедности. У каталитичке елементе безбедности спадају они параметри возила који могу остварити неповољно дејство, пре свега, на возача (а и на путнике који се превозе) и на тај начин утицати на настанак судара или тежину последица судара. Ту спадају, поред напрезања и замора возача: *бука*, вибрације и загађивање микроклиме возила гасовима, грејање, проветравање и друго 0.

Бука је непријатан и непожељан звук који се својом јачином издваја од осталих. Звук настаје осциловањем еластичних тела. Осцилације тела се производе механички ударом, стругањем, зарезивањем тела или струјањем течности и гасова. Начин распрострањања звука на природан начин представља појаву осцилација у ваздуху које изазивају наизменично сабијање, згрушавање и разређивање ваздуха [2]. Осцилације које се преносе у околни ваздух, у њему изазивају исте осцилације које допиру до људског уха. Оно не може да региструје звук фреквенције испод 20Hz (инфразвук) и изнад 20000 Hz (ултразвук), али је најосетљивије у опсегу фреквенција звука од 2000÷3000 Hz.

Од настанка великих градова и појаве буке, овај проблем се прати, изучава и констатовано је да бука није само еколошки проблем, већ представља непредвидљиву опасност по здравље становништва. Возачи су изложени константној буци и вибрацијама у сопственом возилу, а њиховим радним окружењем доминира бука свих осталих возила у саобраћају. Бука оштећује слух и здравље и често превазилази нивое дозвољене буке у радном окружењу.

Код дужег излагања органа слуха дејству буке већег интензитета (80 dB и више), може доћи до лаганог али прогресивног слабљења слуха, оштећења слуха, па и до потпуне глувоће. Такође, може доћи до смањења оштрине вида и способности распознавања боја, вртоглавице, главобоље, раздражљивости и замора.

У Европи, а и код нас, све више је заступљена бука ниског интензитета. Оваква бука не оштећује слух, али зато може изазвати поремећаје спавања, стресне реакције, узнемиреност и нерасположење, сметње у комуникацији и смањење радне способности. Бука је један од најчешћих узрока поремећаја спавања. Бројне студије показују да су поремећаји спавања најчешће навођени поремећај који је последица изложености саобраћајној буци.

Возило представља сложени извор зрачења буке који чине узајамно повезани возило и мотор са унутрашњим сагоревањем. На свим површинама мотора и каросерије возила се јављају осцилације и генеришу звучни таласи који се чују као бука. У простору за путнике бука не би смела да пређе вредност од 70 dB 0.

У протеклих неколико година, захтеви који се односе на акустику возила су се повећали, што је, са једне стране, условљено порастом захтева корисника, а са друге стране, развојем и трендовима у аутомобилској индустрији, па тиме и смањење тежине

и трошкова има све већи значај. Из тог разлога се ради на смањењу унутрашње буке возила.

Данас је акустика у путничком простору једна од важнијих перформанси возила, односно бука унутар возила има централну улогу. Она потискује дејство осталих карактеристика и када је бука непријатна, губи се утисак о квалитетном возилу. Пошто није санкционисана прописима, постајала је све важнија претходних година захваљујући захтевима купаца за постизање бољег комфора. На основу оцене возача, бољи комфор је постигнут онда, када нема разлике између његових очекивања и онога што он заиста осећа. Савремена возила се конструишу и израђују тако да постигну економичнију потрошњу горива, а то захтева смањење тежине. Међутим, пошто постоје и захтеви за постизање веће снаге мотора, фактор цене, као и законски прописи (ради задовољења могућности рециклаже), потребно је наћи компромис, првенствено између тежине и акустичког комфора, снаге, цене и регулатива [3].

Смањење нивоа емитоване буке возила може се постићи правилним пројектовањем возила, регулисањем саобраћајног тока и коришћењем технички исправних возила, као и применом акустичне изолације између простора за смештај мотора и простора за путнике. Али, пошто то није случај у пракси, често се дешава да долази до суочавања са буком онда, када она већ постане проблем. Све што тада може да се предузме је исправљање учињеног, али су таква решења и пуно скупља [4].

У складу са темом, циљ овог мастер рада је било свеобухватно сагледавање проблематике унутрашње буке возила кроз теоријска разматрања и развој методологије мерења унутрашње буке возила у оквиру Лабораторије за моторна возила.

У уводном делу мастер рада, кроз теоријска разматрања, описан је значај и актуелност теме мастер рада и дат је преглед структуре рада.

Друго поглавље обрађује утицај нивоа интензитета буке у унутрашњости возила на путнике, као и изворе буке и законска ограничења у вези унутрашње буке возила. Такође, приказане су и мере за смањење унутрашње буке возила.

Стандарди и правилници везани за унутрашњу буку возила, као и уређаји за мерење буке и начин њихове употребе предмет су разматрања у трећем поглављу мастер рада.

У четвртном поглављу је приказан развој методологије мерења унутрашње буке возила у Лабораторији за моторна возила Факултета инжењерских наука, кроз опис: предмета испитивања, мерних величина и начина њиховог мерења, начина уградње мерних уређаја, режима рада, начина спровођења мерења и обраде резултата мерења и планираног начина приказивања резултата мерења.

Приказ и анализа резултата мерења дати су у петом поглављу мастер рада. Резултати су приказани табеларно и анализирани.

У закључним разматрањима дат је приказ одређених закључака до којих се дошло у истраживањима везаним за тему мастер рада.

2. УНУТРАШЊА БУКА ВОЗИЛА

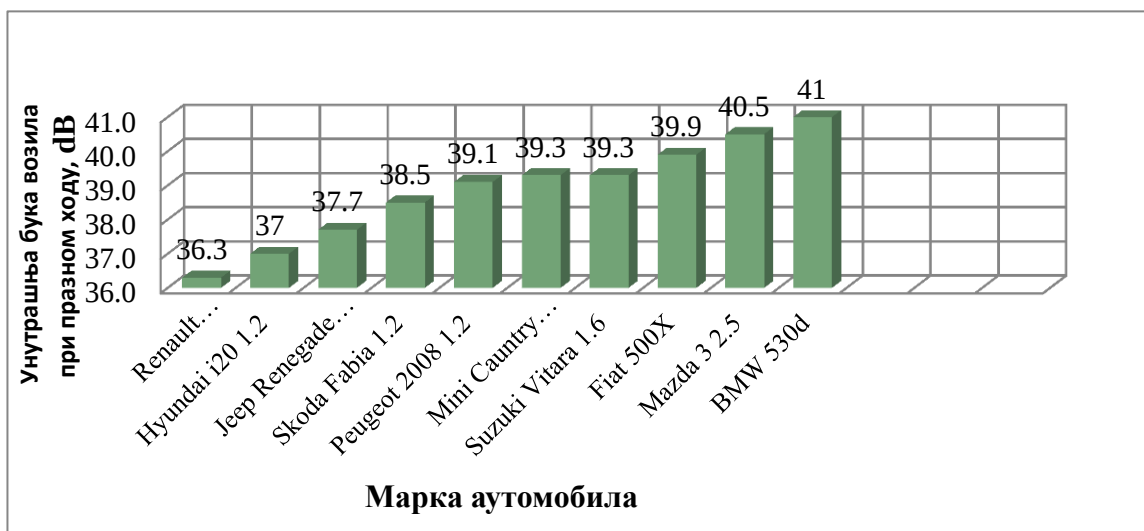
Током година, унутрашња бука возила је значајно смањена, као одговор на очекивања купаца. У задњих 40 година, највећа побољшања су уочена у смањењу разлика у нивоима унутрашње буке између породичних и луксузних возила. За разлику од спољашње буке, верује се да је постојање унутрашње буке пожељно да би се стекао утисак о карактеру, осећају и о индикацији брзине кретања возила. Нека новија луксузна возила су, можда, отишла и испод границе „идеалне буке“, па су исувише тиха.

У табели 1 приказани су резултати мерења унутрашње буке код 10 модела возила из 2015. године, а који су постигли најбоље резултате, односно најмање нивое буке у унутрашњости возила, при раду мотора на празном ходу. У истој табели, приказани су и резултати мерења унутрашње буке возила при кретању возила карактеристичним брзинама кретања од 50 kmh^{-1} до 140 kmh^{-1} [5].

Табела 1 – Унутрашња бука 10 модела возила из 2015. године који емитују најмање нивое буке при раду мотора на празном ходу

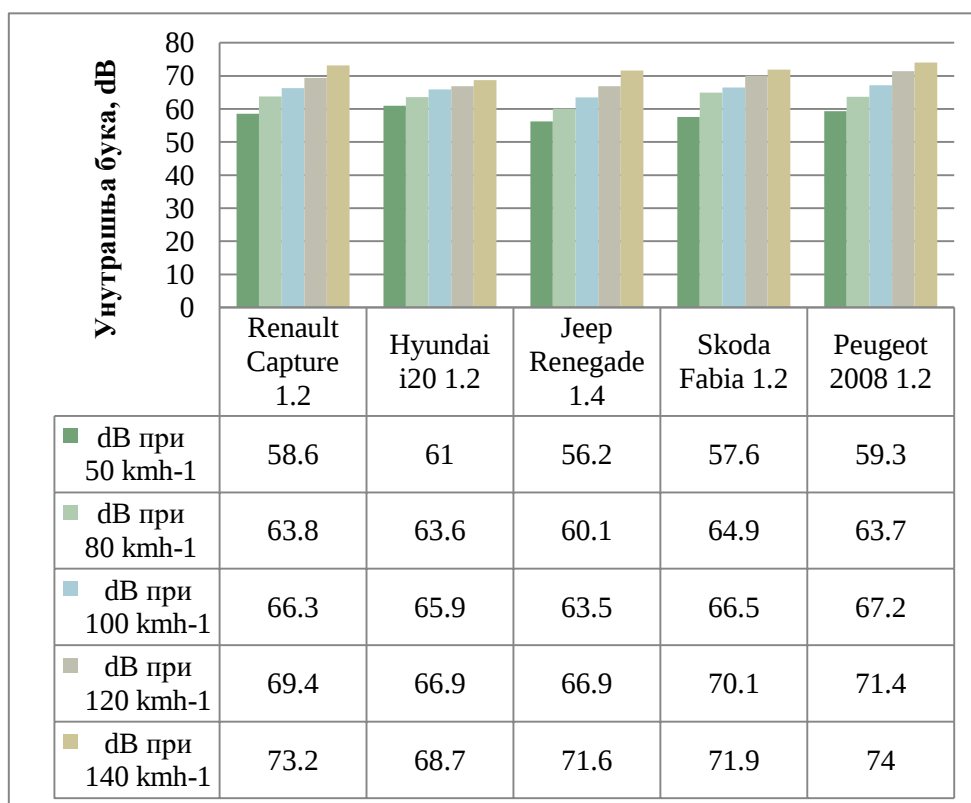
Возило	dB на празном ходу	dB при 50 kmh^{-1}	dB при 80 kmh^{-1}	dB при 100 kmh^{-1}	dB при 120 kmh^{-1}	dB при 140 kmh^{-1}
Renault Captur 1,2	36,3	58,6	63,8	66,3	69,4	73,2
Hyundai i20 1,2	37	61	63,6	65,9	66,9	68,7
Jeep Renegade 1,4	37,7	56,2	60,1	63,5	66,9	71,6
Skoda Fabia 1,2	38,5	57,6	64,9	66,5	70,1	71,9
Peugeot 2008 1,2	39,1	59,3	63,7	67,2	71,4	74,0
Mini Countryman 1,6	39,3	59,0	63,8	66,3	69,9	73,0
Suzuki Vitara 1,6	39,3	59,6	65,4	68,5	71,3	73,8
Fiat 500X 1,4	39,9	57,6	62,4	65,9	69,4	72,9
Mazda 3 2,5	40,5	52,4	59,8	63,9	66,3	68,7
BMW 5 530d	41,0	55,2	59,1	62,9	66,6	68,3

На слици 1, дијаграмски су приказани нивои унутрашње буке најбоље пласираних возила при раду мотора на празном ходу. Види се да је разлика нивоа буке између првог и последњег модела возила око 4 dB. Иначе, интересантно је да је на ранг листи возила [5], без обзира на годину производње, прва места заузима више модела хибридних аутомобила. Возило које емитује најмањи ниво буке у унутрашњости возила од 32,4 dB је модел Toyota Prius 1.8 HSD из 2008. године.



Слика 1 – Модели возила из 2015. године који емитују најмање нивое унутрашње буке возила при раду мотора на празном ходу

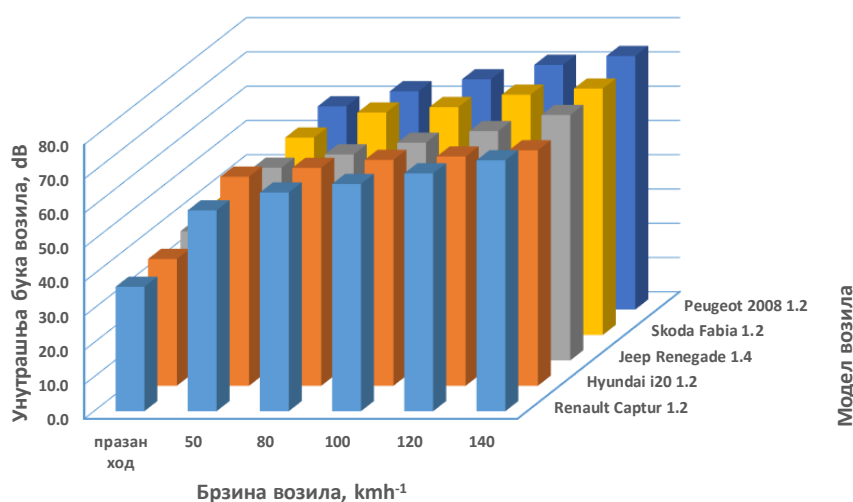
Унутрашња бука 5 најбоље пласираних модела возила из 2015. године (према емисији буке на празном ходу мотора) при карактеристичним брзинама кретања возила, приказана је на дијаграму на слици 2.



Слика 2 – Нивои унутрашње буке модела возила из 2015. године при карактеристичним брзинама кретања возила

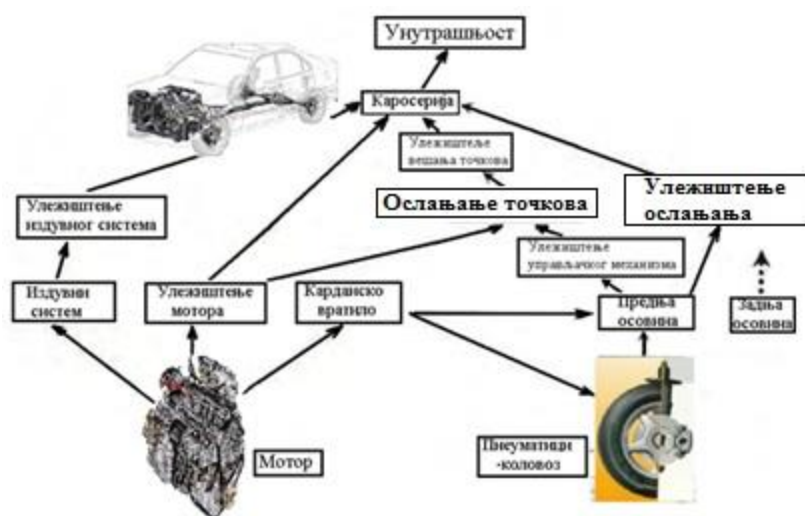
Као што се може видети, возило које емитује најмању буку у унутрашњости возила при раду мотора на празном ходу, Renault Captur 1.2, не показује најбоље резултате при мерењу буке возила при кретању карактеристичним брзинама. При вишим брзинама, рецимо, добре резултате у групи посматраних возила постиже возило Hyundai i20 1.2.

Да би се боље уочиле тенденције емисије буке у унутрашњости возила при раду мотора на празном ходу и са променом брзине кретања возила, резултати су графички приказани на слици 3.



Слика 3 – Унутрашња бука возила при раду мотора на празном ходу и кретању различитим брзинама

На слици 4, дат је приказ фактора који утичу на буку возила, који су, иначе, многобројни и међусобно повезани [4].



Слика 4 - Утицајни фактори на буку и осцилације у кабини возила [4]

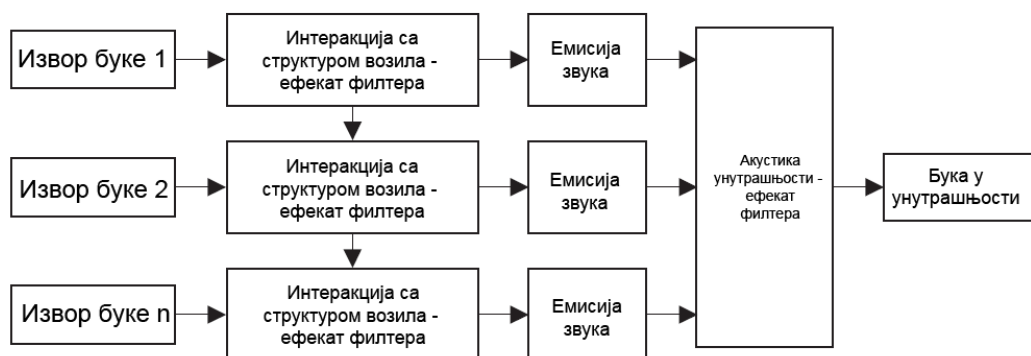
2.1 КОМПОНЕНТЕ УНУТРАШЊЕ БУКЕ ВОЗИЛА

Бука у унутрашњости возила је комбинација [6]:

- буке мотора,
- буке у контакту пнеуматик-тло (буке пнеуматика),
- буке система за усисавање,
- буке система за издувавање,
- аеродинамичке буке,
- буке компоненти и помоћних система,
- буке при кочењу и
- буке од шкрипе, звечања и подрхтавања у унутрашњости возила.

Осим буке од шкрипе, звечања и подрхтавања које се јављају унутар кабине возила, бука обично потиче споља и ступа у интеракцију са структуром возила, чиме се емитује звук унутар кабине возила, слика 5. Интеракција са структуром возила може бити:

- преко ширења буке кроз ваздух – бука изван путничког одељка која „цури“ у путнички одељак и ствара буку унутар возила и
- преко ширења буке кроз структуру возила – спољашње вибрације које изазивају вибрације површина путничког одељка и емисију буке.



Слика 5 – Шематски приказ извора унутрашње буке возила [6]

Директни пренос буке кроз ваздух се јавља тамо где не постоји изолација између унутрашњег и спољашњег окружења. Индиректни пренос буке се јавља када спољашња бука утиче на површине путничког одељка, изазивајући њихово вибрирање и емисију унутрашње буке. Интеракција између извора буке и структуре возила има ефекат филтрирања на коначни ниво унутрашње буке, као што је приказано на слици 5. У случају директног преноса буке кроз ваздух, пренос звука до путничког одељка ће бити највећи на ниским фреквенцијама. У случају путање буке кроз структуру возила, употреба еластичних ослонаца ће изоловати путнички одељак при вишим фреквенцијама, па ће пренос буке, такође, бити највећи при ниским фреквенцијама.

2.1.1 Бука мотора возила

Бука мотора представља суму две компоненте:

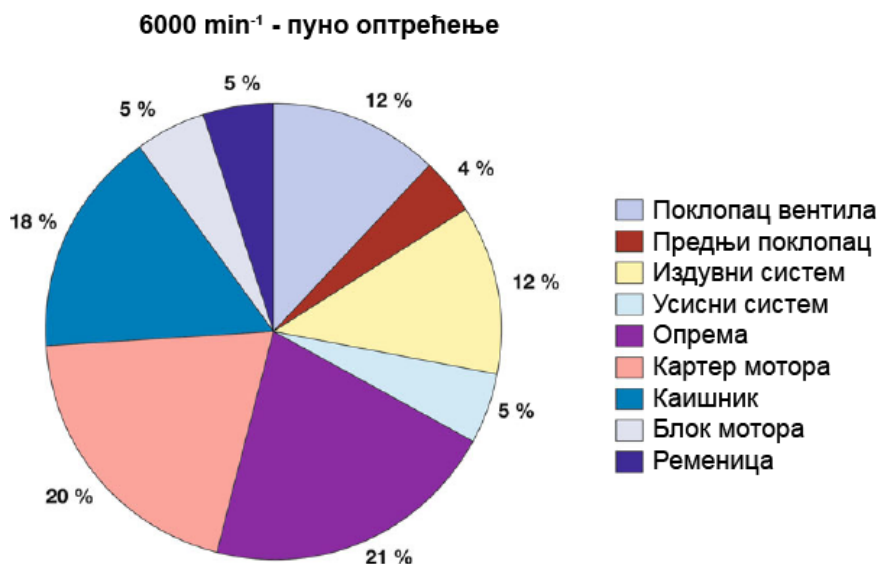
- буке сагоревања и
- механичке буке.

У општем случају, механичка бука је доминантна код бензинских мотора, док бука сагоревања више доприноси укупној буци дизел мотора. Бука мотора зависи од броја обртаја мотора, а код неких типова мотора, може да зависи и од оптерећења (посебно код нормално озрачених дизел мотора са директним убризгавањем и бензинских мотора).

Бука сагоревања настаје од сила гасова у цилиндру које делују на структуру мотора, изазивајући појаву вибрација, које се претварају у емитовану буку. Дакле, буку сагоревања производи механизам индиректног генерисања буке.

Механизам коленастог вратила (клипови, клишњаче, коленасто вратило, лежајеви) трпи спољне силе од сила гасова и силе генерисане унутар механизма услед сопствене инерције. Реакција структуре мотора на суму ових сила производи механичку буку путем механизма индиректног генерисања буке. Остали извори механичке буке су: погон брегасте осовине, вентили и опрема за убризгавање горива.

На слици 6 приказани су појединачни доприноси буке елемената бензинског мотора у укупном интензитету буке пренете кроз ваздух.



Слика 6 – Удели буке елемената бензинског мотора у укупној буци мотора пренетој кроз ваздух [7]

2.1.2 Бука усисног и издувног система возила

Бука усисног система се генерише када се улазни ваздух који се креће великом брзином нагло заустави затварањем усисних вентила. Резултујући импулс притиска се простире назад ка улазном отвору где се емитује као бука. На сличан начин, бука издувавања се генерише када се отвори издувни вентил и брзо испусти заостали притисак процеса сагоревања. Импулс притиска се простире дуж система и емитује се као бука са краја издувне цеви.

Бука усисавања и издувавања имају превасходно нискофреквентне компоненте у спектру, при чему бука издувавања често има додатну високофреквентну буку од протока на већим бројевима обртаја и оптерећењима мотора. Иако основне карактеристике дизајна мотора веома утичу на генерисање буке усисавања и издувавања, ретко се оптимизују према ниској емисији буке, већ према високим перформансама, што често резултује високим нивоима буке [8].

2.1.3 Бука у контакту пнеуматик-тло

Бука у контакту пнеуматик-тло је, углавном, нискофреквентна (фреквенције мање од 1000 Hz). Састоји се од буке пренете кроз структуру возила, преко система еластичног ослањања (фреквенције мање од 500 Hz) и буке пренете директно кроз ваздух од пнеуматика до структуре возила (фреквенције веће од 500 Hz), која се често погрешно интерпретира као бука ветра. Компоненте буке пренете кроз структуру возила доминирају укупним нивоима буке, осим на глатким површинама пута [6].

Нивои унутрашње буке могу да имају вршне вредности од 60 dBA до 65 dBA на фреквенцији од 250 Hz и опадају при повећању фреквенције. Нивои на фреквенцијама већим од 1000 Hz су типично 15 dBA ниже од нивоа при фреквенцијама мањим од 300 Hz.

2.1.4 Аеродинамичка бука возила

Аеродинамичка бука (бука ветра) је значајан извор унутрашње буке код многих возила која се крећу великим брзинама. Често се погрешно схвата као бука у контакту пнеуматик-тло. Изазива је више механизма [6]:

- аеродинамичка побуда тзв. „зелених површина“ на возилу (стакла и кровни отвори) која изазива унутрашњу буку коју емитује структура возила,
- проток ваздуха испод пода возила који изазива пренос звука кроз ваздух до унутрашњости, посебно у области точкова,
- пренос буке кроз заптиваче врата и стакла кроз „цурење“ буке или услед аеродинамичке побуде врата и стакла изазване ометеним протоком ваздуха преко заптивача,

- вртложења преко истакнутих делова каросерије (као што су антене, кровни носачи, итд.) која изазивају тонску буку пренету кроз ваздух,
- проток кроз шупљине кроз делимично отворен прозор или отвор на крову који изазива интензивну нискофреквентну буку (обично испод 25 Hz).

На слици 7 приказани су основни извори аеродинамичке буке на возилу.



Слика 7 – Основни извори аеродинамичке буке на возилу [8]

2.1.5 Бука при кочењу возила

Постоји неколико различитих категорија буке генерисане при кочењу возила:

- шкрипа кочница (настаје на већим брзинама и има тонски карактер са компонентама далеко изнад 1000 Hz),
- јечање кочница (настаје при умереним брзинама и карактерише се фреквентним компонентама око 100 Hz),
- пузање-јечање кочница (јавља се при брзинама мањим од брзине кретања пешака и карактерише се фреквентним компонентама око 100 Hz),
- подрхтавање кочница (јавља се при брзинама мањим од брзине кретања пешака и карактерише се фреквентним компонентама око 10 Hz).

Извор све четири класе буке кочница је трење између фрикционих површина облоге и диска (добоша) кочнице. Шкрипа кочница се емитује од стране самих компоненти кочнице (диска, облога и склопа кљешта кочнице). Међутим, због тога што су резонантне фреквенције компоненти кочница типично високе (ретко испод 1000-2000 Hz), у случају осталих класа буке кочница, систем еластичног ослањања се понаша као резонантни систем.

2.1.6 Бука од шкрипе, звечања и подрхтавања у унутрашњости возила

Контрола унутрашње буке од шкрипања, звечања и подрхтавања је веома важна, јер ова иритирајућа бука ниског интензитета је код неких произвођача узрок број један враћања возила од стране дилера. Главни разлог је што се ова бука лако открива, али је обично тешко налази извор, а и када се нађе извор, често нема решења за отклањање буке.

Бука подрхтавања је изазвана високофреквентним контактним вибрацијама (као што је бука која се јавља на ручици мењача) и релативно се лако детектује и санира. За разлику од тога, шкрипу изазива релативно кретање између парова материјала, а ти парови могу бити постављени у дубини материјала унутрашњости возила (рецимо негде унутар инструмент-табле). Звечање могу да изазову исувише лабаве или стегнуте везе унутрашњих облога возила, али и систем преноса снаге возила.

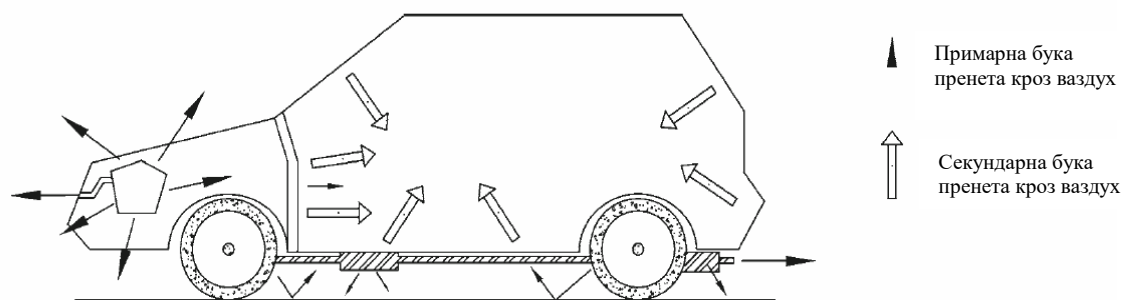
2.2 ПРЕНОШЕЊЕ БУКЕ КРОЗ УНУТРАШЊОСТ ВОЗИЛА

Интеграцијом погонског система на возилу (спреге мотор-преносници снаге, укључујући све пратеће компоненте, преноса погона до погонских точкова, усисног и издувног система мотора), у унутрашњости путничког простора возила се јавља звучно поље у коме имају улогу удели буке пренете кроз ваздух и буке пренете кроз структуре возила.

Део буке који се преноси кроз ваздух, а који се зрачи са површина погонског система назива се примарна бука кроз ваздух и она може да у путнички простор допре директно кроз отворе на каросерији. Типична путања буке кроз ваздух пролази кроз отворе у лиму каросерије, као што су попречни преградни зид моторског простора који је неопходан из техничких разлога, рецимо због пролаза механизма система за управљање, мењача, спојнице или каблова. На тај начин се смањује утицај звучне изолације, чак и при постојању малих отвора у изолацији. Путем одговарајућег концепта изолације каросерије, могућа је добра изолација примарне буке пренете кроз ваздух.

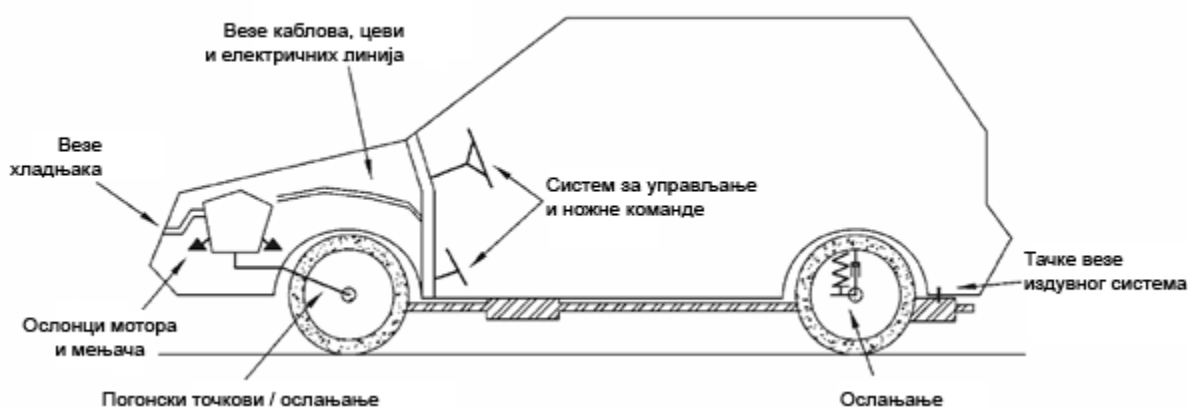
Примарна бука погонског система пренета кроз ваздух, међутим, побуђује осциловање граничних површина путничког простора, као што су, на пример, осцилације блатобрана због буке из моторског простора, која, опет, изазивају буку у путничком простору пренету кроз ваздух, која делује на блатобран са супротне стране. Ови удели буке пренете кроз ваздух у путнички простор означавају се као секундарна бука индукована буком пренетом кроз ваздух, слика 8 [7].

Бука пренета кроз структуру возила се преноси кроз све тачке везе погонског система за каросерију. Удео буке пренет кроз структуру возила побуђује осциловање граничних површина путничког простора, са чиме је повезана појава секундарне буке пренете кроз ваздух, индуковане буком пренетом кроз структуру возила. Осим везе мотор-мењач, као путање преноса буке кроз структуру возила, треба навести и тачке везе издувног система, механизма мењача, гаса, спојнице, при чему су везе кабловима акустички боље од чврстих веза.



Слика 8 – Удели буке пренете кроз ваздух у путнички простор возила [7]

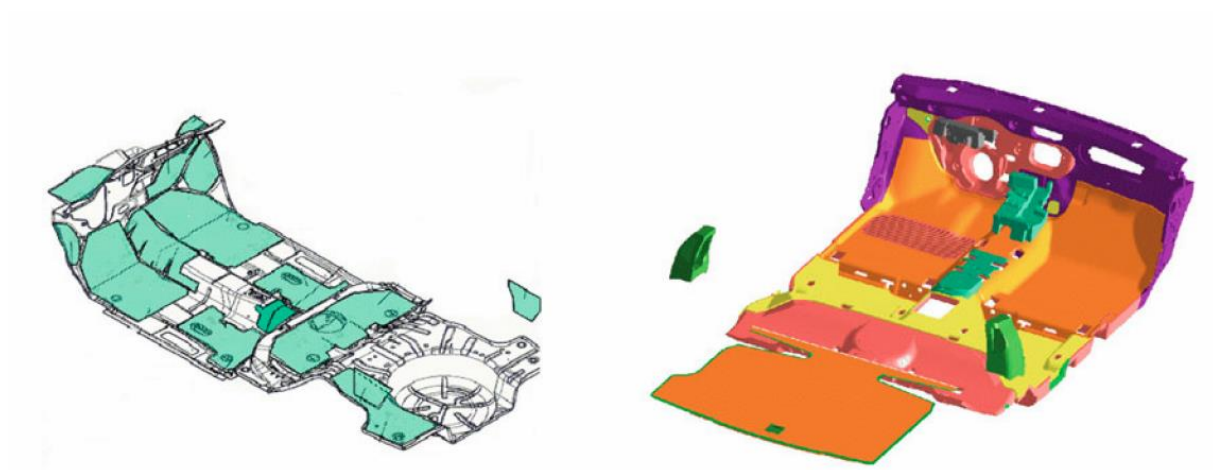
Путања преноса буке са погонских полувратила такође игра улогу. Она се, код возила са предњим погоном, примарно преноси на каросерију преко система еластичног ослањања, слика 9. За феномен појаве буке могу бити од важности и путеви преноса буке преко каблова, водова за хлађење, климатизацију и напајање горивом [7].



Слика 9 – Удели буке пренете кроз структуру возила у укупној буци у унутрашњости возила [7]

Секундарна бука пренета кроз ваздух зависи, како од понашања (материјала и облика) осцилујућих лимова, тако и од концепта изолације буке. Слика 10 приказује мере звучне изолације (лево) и пакет за изолацију код возила средње класе.

Путници чују суму свих удела буке пренетих кроз ваздух и структуру возила у унутрашњост возила, чему се придружују удели буке од ветра и котрљања точкова. У већини случајева, путник не може да разликује детаљно различите уделе буке у унутрашњости возила - то може само мерна техника. За разматрања у фреквентном домену, треба сматрати значајним фреквенције унутрашње буке возила пренете кроз структуру возила до 2 kHz, и пренете кроз ваздух - до 8 kHz. Изнад ових фреквенција, нивои буке су исувише мали и нису значајни за разматрање.

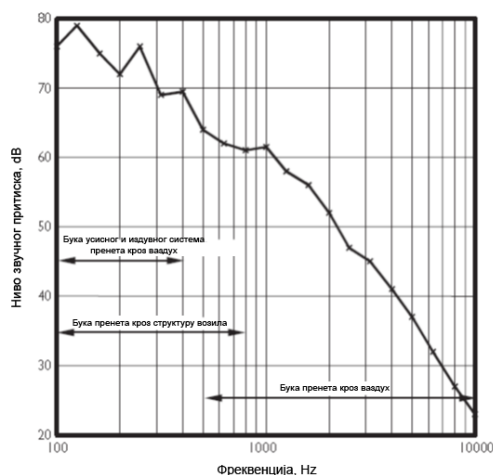


Слика 10 – Мере изолације и пакет изолације код возила средње класе [7]

2.3 ИНТЕНЗИТЕТ И СПЕКТАР УНУТРАШЊЕ БУКЕ ВОЗИЛА

Код просечног путничког возила, нивои унутрашње буке се крећу од 45 dBA, при празном ходу, до око 70 dBA, при кретању константном брзином од 110 kmh^{-1} . При максималном убрзању, унутрашња бука може да достигне и 78 dBA. Драматични утицај мотора и брзине кретања возила на унутрашњу буку, као резултат даје прихватљиво ниске нивое буке при празном ходу, блиске нивоима буке у тихој канцеларији, до потенцијално опасних нивоа буке при великим брзинама, посебно при убрзавању и кретању уз дуги успон. При кретању брзином од 130 kmh^{-1} и укљученим звучницима унутар путничког простора, возач може бити изложен непрекидним нивоима буке интензитета преко 80 dBA, посебно у лаким теретним возилима и на „бучним“ површинама пута [8].

У спектру унутрашње буке друмских возила доминира нискофреквентна бука, при чему њен већи део долази до путничког одељка кроз структуру возила, слика 11.



Слика 11 – Типичан спектар унутрашње буке путничког возила при 110 kmh^{-1} [8]

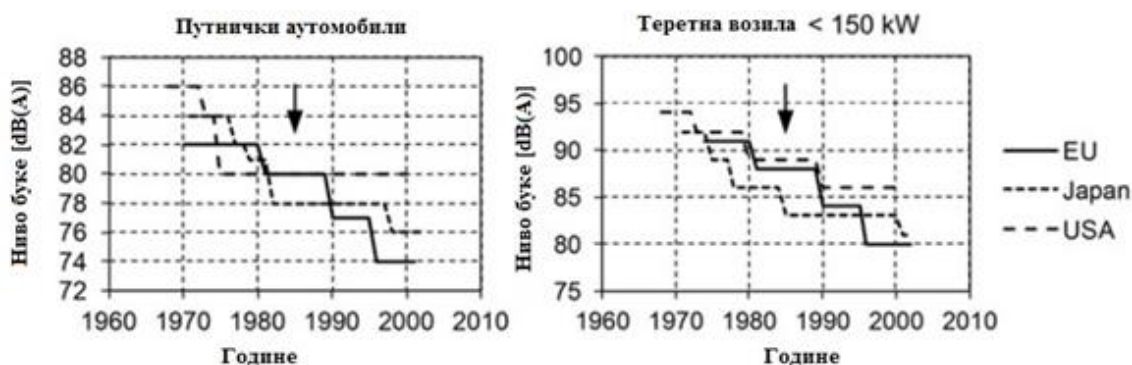
Међутим, при ниским фреквенцијама су присутни и удели буке усисавања и издувавања пренети кроз ваздух. Како фреквенција расте, унутрашњу буку возила контролише бука пренета кроз ваздух. Фреквенција на којој бука пренета кроз структуру возила и бука пренета кроз ваздух имају сличне нивое, типично је у опсегу од 500 Hz до 1000 Hz и код буке мотора и код буке пнеуматика. За разлику од спољашње буке, возило на срећу обезбеђује значајно смањење буке из различитих извора пре него што допре до унутрашњости возила [8].

2.4 МЕРЕ ЗА СМАЊЕЊЕ УНУТРАШЊЕ БУКЕ ВОЗИЛА

Смањење унутрашње буке возила је значајан задатак за инжењере из аутомобилске индустрије већ више од 40 година. Прво је требало унутрашњу буку возила свести на толерантни ниво и смањити ниво звучног притиска што је више могуће. Са смањењем буке у кабини возила, звук мотора је све мање „маскирао“ друге звуке возила, па су се могли чути и други извори звука. Због тога, инжењери су морали да елиминишу специфичне звукове, који су били комплетно „маскирани“ у прошлости. Морали су да се фокусирају на више извора буке различитих особина и карактеристика, али да задрже или чак нагласе специфичне особине буке које су сматране позитивним.

Аутомобилска индустрија данас сматра да бука и вибрације нису само узнемирујуће појаве, које треба смањити што је више могуће. Возачи и произвођачи возила су приметили да је одговарајући звук користан за вожњу, да изазива задовољство у вожњи и повећава атрактивност и квалитет производа [9].

Произвођачима моторних возила је дато довољно времена да спроведу иновације у циљу смањења буке возила. Временски ток смањења дозвољених граница интензитета буке за аутомобиле и камионе са снагом мотора до 150 kW, приказан је на слици 12 [10].



Слика 12 – Временски ток смањења граница интензитета буке возила [10]

Стрелица на слици 12 усмерена према 1985. години указује да је у Европској Унији тада дошло до промене процедуре мерења. Под одређеним условима, мерење максималног нивоа звучног притиска се обавља микрофонима постављеним на

удаљеност од 7,5 m од средине коловозне траке којом се креће возило, на висини од 1,5 m изнад површине коловоза. Исти ниво звучног притиска се мери и у САД и у Јапану, на растојању које је двоструко веће, па су ограничења за САД подигнута за око 6 dB.

На слици 13 је дат приказ главних места за редукцију нивоа буке возила. Процентуални удео делова каросерије на укупни ниво унутрашње буке износи: ветробранско стакло - 9%, кров - 1%, задње стакло - 3%, задњи део возила - 3%, задњи део пода - 21%, врата - 14%, предњи део пода - 24% и преградни зид - 25% [11].



Слика 13 – Основна места погодна за редукцију буке возила [12]

Да би се смањио општи ниво буке возила на величину која се може толерисати и да би се филтрирале осцилације одређених фреквенција и амплитуда, користе се различити пригушивачи буке. Унутар возила, нижи интензитет буке се постиже бољом изолацијом преградног зида, мањим отворима на преградном зиду за пролаз каблова, ужади, командних папучица и слично, и већом активном површином апсорпције унутрашњег простора возила [12].

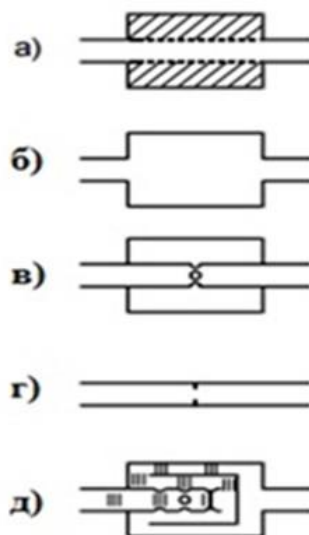
Приликом анализе мера за смањење буке, потребно је узети у обзир и алтернативне концепте погона, као што су електро возила, возила са горивим ћелијама и хибридна возила. Исто тако, фактори као што су: динамичка оптимизација каросерије, обликовање ретровизора или браника, угао нагиба ветробранског стакла и избор његове дебљине (редуковање тежине), могу да утичу на акустику у унутрашњости возила. Није једнака фреквенција буке за све делове каросерије, већ варира у односу на њихове габаритне димензије, механичка својства и граничне услове. Возило које је предвиђено за градски саобраћај (кратке деонице) је потребно другачије развијати него возило које је предвиђено за дуге деонице пута.

У општем случају, контрола буке која се преноси кроз ваздух може се остварити на два различита начина: звучном изолацијом и апсорпцијом звука у кабини возила. Први начин се фокусира на задржавање звука изван кабине возила, док други начин контроле ради на апсорпцији акустичке енергије да би се смањила заостала бука унутар путничког одељка.

2.4.1 Мере за смањење буке издувног и уисног система

Бука издувавања код непригушених издувних система возила представља највећи извор буке, заједно са буком усисавања. Смањење интензитета емитоване буке издувног система постиже се уградњом реактивних пригушивача буке у облику експанзионих судова на издувну цев возила и таква бука онда не ствара осећај нелагодности.

Пригушивачи који се уграђују у издувне системе раде на принципима рефлексије и апсорпције. Први трансформишу енергију звука у топлоту, док други доводе до интерференције звучних таласа. Смањење нивоа буке је сразмерно запремини пригушивача. Зато је потребна запремина пригушивача дефинисана на основу потребног нивоа смањења буке, као и на основу дозвољеног пада притиска у систему. На слици 14 је дат приказ конструктивних извођења пригушивача буке који се базирају на поменутим принципима.



Слика 14 – Начини пригушивања буке издувавања: а) апсорпција, б) експанзија издувних гасова, в) бочни резонатор, г) сужавање пресека (такође пролазом кроз рупице зидова) и д) интерференцијом звучних таласа

Приликом развоја нових и побољшања постојећих конструкција пригушивача буке, веома је важно да се уградњом пригушивача буке на усисну или издувну грану не погоршају ефективни показатељи мотора (снага мотора, економичност, односно специфична потрошња горива). Избором одговарајућих димензија, временски се подешава одбијање таласа, слика 14д), па на појединим местима у пригушивачу долази до преклапања побудних и рефлектованих таласа, што доводи до њихове интерференције и делимичног поништавања.

Уградња оваквих пригушивача буке на издувни или усисни систем, који је раније био подешен да гаси стуб осцилује по унапред одређеној динамици, доводи до одређених поремећаја. То је последица промене граничних услова на почетку или на

крају цевне инсталације, а и долази до повећања струјних губитака због додатних аеродинамичких отпора. То се одражава на смањење коефицијента пуњења мотора, а посредно и на остале ефективне показатеље мотора.

Бука усисавања (побуда акустичне енергије струјањем гаса) је аеродинамичког порекла и углавном је одређена перформансама мотора, као и издувна бука. Код буке која настаје код усисавања, осцилације притиска ваздуха (смеше) јављају се и при пролазу кроз пречистач, карбуратор, уисну цев и при улазу у цилиндар мотора, током пуњења. То се, такође, дешава код брзог затварања вентила, када гасни стуб у уисној инсталацији наставља са осциловањем. Механизам настанка буке током усисавања је веома комплексан и зато се тај део буке јако тешко пригушује на задовољавајући ниво.

2.4.2 Мере за смањење буке мотора

Специфичне мере за смањење буке мотора су следеће:

- употреба изолационог заптивача између картера и кућишта мотора,
- употреба гумених изолационих заптивача на поклопцу вентила,
- употреба система са централним убризгавањем горива и система појединачних бризгаљки, који су компактнији и тиши (код дизел мотора),
- употреба блокова мотора са посебним поклопцима лежајева коленастог вратила на преградама између цилиндара,
- избегавање великих равних површина на компонентама уисног система,
- употреба добро пригушених изолованих поклопаца мотора и
- изолација мотора унутар моторског простора.

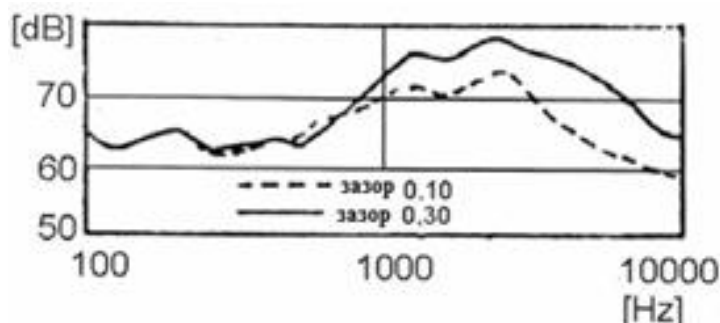
Процес сагоревања је најзначајнији извор буке мотора. Код дизел мотора, код кога долази до самопаљења смеше у цилиндру мотора, појављује се већи ниво буке за око 10 dB(A) него код бензинског мотора, код кога је паљење иницирано од свећице, од које се постепено шири док се целокупна смеша не упали.

Механичка бука мотора (побуда акустичне енергије механичким путем) је последица импулса удара делова који се релативно крећу и најчешће се појачава проласком звука кроз материјал, односно кућиште мотора, вибрацијом корита, итд. Један део механичке буке настаје приликом налегања вентила, ланчаног преноса, рада зупчаника, клацкалица (судар вентила о седиште у глави мотора и брега о подизаче) и слично. Други део долази од сагоревања због брзог пораста притиска у току друге фазе.

Механичка бука се може смањити оптималним профилисањем одговарајућих делова, као и смањењем зазора између делова у релативном кретању. На тај начин се контролишу секундарна кретања делова и смањују вредности импулса удара.

Величина зазора између клипа и цилиндра не сме да буде превише мала, зато што, услед великих притисних сила и динамичких оптерећења, долази до екстремног оптерећеног уљног филма који раздваја контактне површине. Током великог оптерећења, цепање уљног филма доводи до појаве адхезионог механизма хабања, услед директног контакта радне површине. Код дизел мотора, повећањем зазора клипа

са 0,1 на 0,3 mm долази до повећања буке на фреквенцији од 3 kHz за приближно 7 dB (слика 15).



Слика 15 – Утицај зазора клипа у цилиндру на ниво буке [4]

Велики извор буке широког спектра се јавља и код рада вентилатора система за хлађење мотора. Она значајно зависи од конструкције, тј. облика саћа код хладњака, облика лопатица, растојања лопатица, растојања између хладњака и вентилатора (због настанка турбуленције) и сл. Пошто бука коју генерише вентилатор је таквог фреквентног садржаја који је близак резонантним учестаностима путничког простора, то може бити извор додатних проблема.

2.4.3 Мере за смањење буке система за пренос снаге мотора

Бука система за пренос снаге возила, може бити смањена првенствено оптимизацијом макрогеометрије¹ и микрогеометрије² зупчастог пара. Стварање буке унутар овог система возила је првенствено везано за буку која се ствара у мењачком и диференцијалном преноснику, односно приликом спрезања зупчастих парова. Зупчасти парови стварају буку која расте са порастом брзине и то стопом од 6 dB до 8 dB са удвостручавањем брзине обртања. Исто тако, бука расте и са порастом преноса снаге од 2,5 dB па до 4 dB са удвостручивањем преноса снаге. Да би пренос снаге био без буке и вибрација потребно је да се идеалан зупчасти пар окреће константном брзином.

У пракси се појављују одређени проблеми, прво у профили зуба и зазору између спрегнутих зуба, а у неким случајевима се појављују и ексцентричне силе које генерише вратило. Током спрезања погонског и гоњеног зупчаника долази до преноса тренутног оптерећења са зуба на зуб, поред чега се генерише бука у зони спрезања. Последњих година се ради на томе да се побољша еластичност и профил зуба ради смањења буке. То није могуће постићи у свим условима рада, зато што су зуби изложени пре свега променљивом оптерећењу.

¹Макрогеометрија подразумева основне параметре пројектовања и конструисања зупчаника (модул, број зуба, облик зуба, угао спрезања, ширина, итд.)

²Микрогеометрија је везана за структуру материјала од кога се израђују елементи система за пренос снаге мотора

2.4.4 Мере за смањење унутрашње буке возила која потиче из контакта пнеуматик-тло

Мере за смањење унутрашње буке возила која потиче од контакта пнеуматик-тло укључују:

- избор мање бучних пнеуматика,
- достизања односа бука-улазна сила од $0,01 \text{ PaN}^{-1}$ у свим тачкама везе система еластичног ослањања, што у пракси захтева крутост каросерије већу од 10 kNmm^{-1} ,
- употреба лежајева система еластичног ослањања крутости између једне петине и једне десетине крутости каросерије,
- употреба еластично постављеног додатног оквира за монтажу система еластичног ослањања, који је круто везан за каросерију,
- употреба мера за смањење нивоа унутрашње буке, као што су изолационе баријере и
- смањење буке изазване амортизерима.

2.4.5 Мере за смањење буке кочења

Постоји мали број опција за контролу буке кочења. Најуобичајенија мера за смањење буке кочења је пажљив избор фрикционих парова, јер разлика између статичких и динамичких коефицијената трења изазива буку кочница, док употреба слојева металних плоча спојених закивцима за полеђину кочних облога може послужити као ефикасно средство за пригушење шкрипе кочница.

2.4.6 Употреба материјала за изолацију од буке

Ниво буке у унутрашњости возила може се контролисати додавањем материјала за звучну изолацију у путнички простор возила. Материјали који апсорбују звук доприносе контроли нивоа високофреквентне буке у унутрашњости возила. Њихова корисност при смањењу нискофреквентне буке (рецимо, фреквенције испод 500 Hz) ограничена је, јер би захтевана дебљина апсорбујућег материјала била велика и додала би исувише тежине возилу.

По правилу, дебљина материјала за звучну изолацију требало да буде најмање једнака четвртини таласне дужине најниже фреквенције буке од интереса. Постављање ваздушног зазора између полеђине материјала и његове подлоге мења привидну дебљину. Апсорпција нискофреквентне буке се повећава са повећањем ваздушног слоја, али се смањује апсорпција високих фреквенција буке. Максимална апсорпција се јавља при дебљини ваздушног слоја једнакој четвртини таласне дужине резонантне фреквенције.

Апсорпцији звука највише доприносе седишта и ослонци за главу, слика 16. То се дешава због њиховог одговарајућег отпора протоку буке (нити исувише великог да

би се јавила рефлексија, нити сувише малог да би била акустички прозирна) и њихове велике површине.



Слика 16 – Апсорпција звука од стране ентеријера возила [7]

3. МЕРЕЊЕ УНУТРАШЊЕ БУКЕ ВОЗИЛА СТАНДАРДНИМ МЕТОДАМА

Мерење унутрашње буке возила се може обавити у лабораторијским и полигонским условима. На располагању су методе објективног мерења, али и субјективне оцене унутрашње буке возила.

3.1 МЕРЕЊЕ УНУТРАШЊЕ БУКЕ ВОЗИЛА У ЛАБОРАТОРИЈСКИМ УСЛОВИМА

Постоје различити објекти и процедуре за мерење акустичких особина возила. Најинтересантније специјални простори за мерење буке возила су [13]:

- анехоишна и полуанехоишна комора,
- реверберациона комора,
- алфа кабина,
- Кунтова цев и
- просторија за мерење губитака у преносу буке.

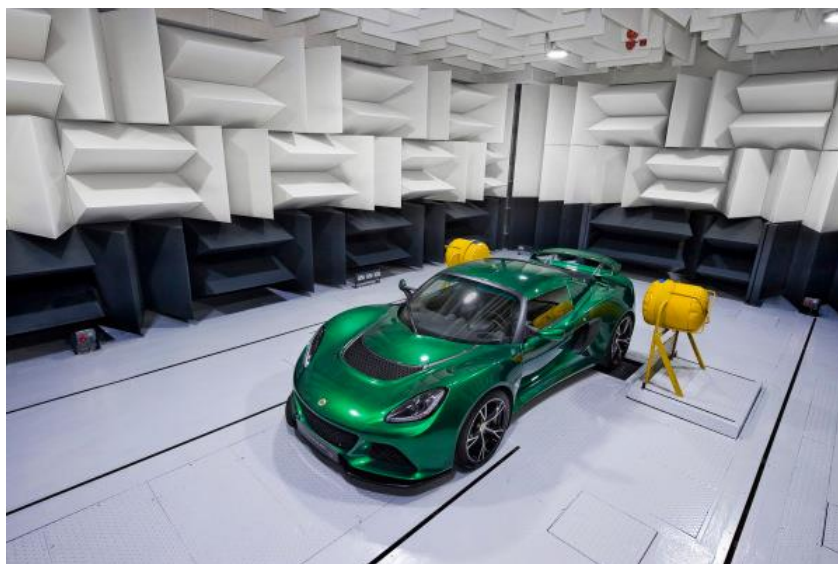
3.1.1 Анехоишна и полуанехоишна комора

Анехоишне („глуве“) коморе, слика 17, су затворене коморе, чије су све површине прекривене изолационим материјалима од минералних или стаклених влакана. Идеална анехоишна комора треба да има на свим зидовима коефицијент апсорпције једнак јединици да би у комори постојали услови емисије звука у слободном звучном пољу. Очигледно, то није потпуно изводљиво, углавном при ниским фреквенцијама, где је тешко остварити висок ниво апсорпције. Из тог разлога, анехоишна комора има минималну радну фреквенцију обично од 100 Hz до 200 Hz, а мерења се могу извести само при високим фреквенцијама звука. Да би могло да се ради унутар анехоишне коморе (у којој је и под обложен изолационим материјалом), обично се гради ослоњени под од металних жица са малом рефлектујућом површином.



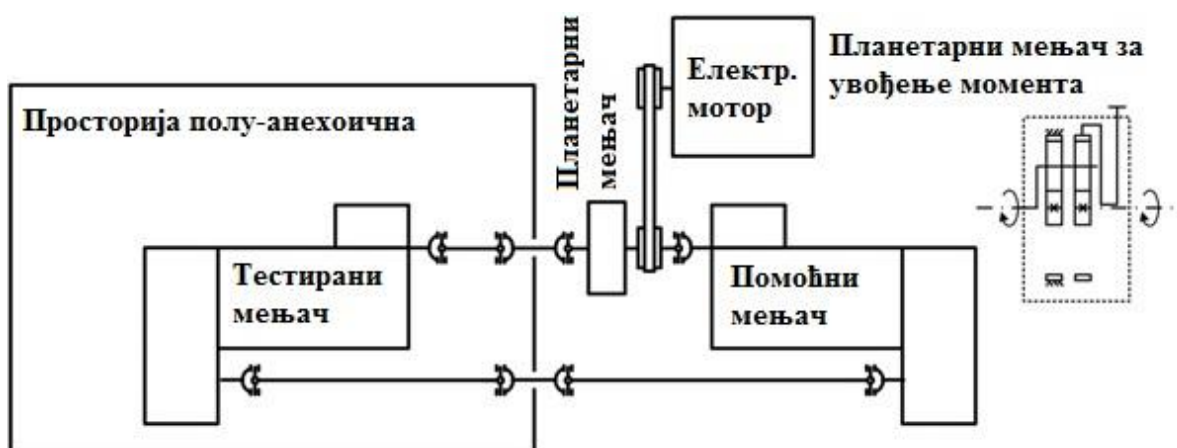
Слика 17 – Анехоишна комора за акустичка мерења

Полуанехоишне коморе се разликују од потпуно анехоишних комора по томе што је њихов под - рефлектујућа површина. На тај начин, могуће је репродуковати емисију звука у слободном звучном пољу у присуству рефлектујуће подлоге, као што је случај код друмских возила, слика 18.



Слика 18 – Lotus Exige S у полуанехоишној комори [14]

Слика 19 приказује пример пробног стола за испитивање буке мењача у затвореној петљи, у полуанехоишној комори [10]. Микрофони су постављени са обе стране мењача, у правцу кретања возила, на растојању од 1 m. Давачи убрзања који су постављени на површини кућишта мењача у близини лежишта вратила могу да обезбеде значајне информације о изворима буке. Тахометар, који генерише низ импулса, се обично користи за мерење броја обртаја главног вратила мењача.



Слика 19 – Пробни сто за испитивање буке у затвореној петљи у полуанехоишној комори [10]

Обртни момент који треба да преноси испитивани мењачу води се преко планетарног преносника. Испитивани мењач је затворен у полуанехоишној комори са зидовима и плафоном који апсорбују звучне таласе и подом који их рефлектује. Квалитет полуанехоишне коморе је од великог значаја за поузданост резултата мерења. Број обртаја улазног вратила се полако повећава од минималног до максималног броја обртаја, док је мењач под оптерећењем које је еквивалентно убрзању возила. Да би се симулирали радни услови мењача током успоравања, тест испитивања буке наставља се лаганим смањивањем броја обртаја од максималног до минималног броја.

Конфигурација за мерење буке мењача у отвореној петљи је приказана на слици 20 [10]. Бука се мери у отвореном пољу, са два микрофона који се налазе у анехоишној комори. Пошто се користи вртложна кочница, неопходно је да се употреби помоћни мењач како би се повећала брзина на којој је ова врста кочнице у стању да ефикасно оптерети мењач обртним моментом.

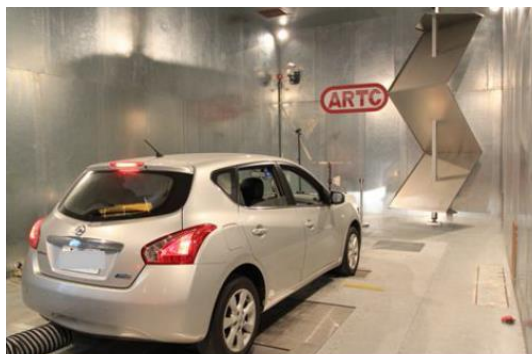


Слика 20 – Пробни сто за испитивање буке у отвореној петљи у слободном пољу [10]

3.1.2 Реверберационе коморе

Реверберационе коморе, слика 21, су по циљу супротне анехоишним коморама – репродукују реверберационо и дифузно поље. Због тога, сви зидови, под и плафон морају да савршено рефлектују звучне таласе. Такође, да би се избегли феномени резонанције у шупљинама, обично се израђују коси зидови и таваница, а понекад се додају рефлектујући и неравни екрани у случајним положајима да би извршили рефлексију и дифузију таласа у свим могућим правцима и генерисали поље са таласима који путују дуж свих упадних углова (дифузно поље).

Реверберационе коморе се користе за мерење апсорпције звука датог материјала или компоненте. Мерењем времена реверберације са и без испитиване компоненте, могуће је наћи њен коефицијент апсорпције. Ово мерење дефинише стандард ISO 354:2003 и захтева реверберациону комору запремине најмање 294 m³.



Слика 21 – Испитивање возила у реверберационој комори [10]

3.1.3 Алфа кабина

У аутомобилској индустрији, заједнички је стандард коришћење реверберационих комора, познатијих као алфа кабине (слика 22), које су величине мање него што захтева стандард ISO 354:2003, али је мерење засновано на истим принципима.

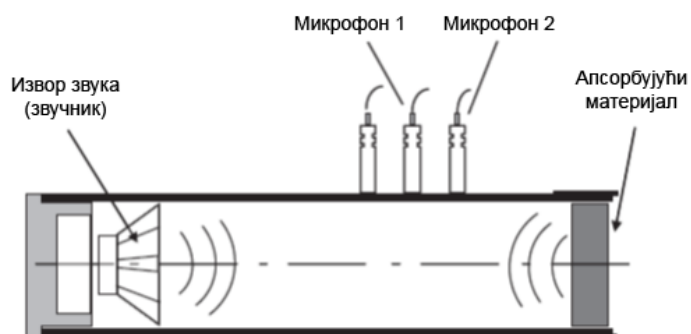


Слика 22 – Алфа кабина фирме Autoneum [15]

3.1.4 Кунтова цев

Мерења нормалне акустичке импедансе и коефицијента апсорпције нормалних таласа могу се урадити у лабораторији мањој од реверберационе коморе – у импедансној цеви или Кунтовој цеви, слика 23. Међународне стандардне процедуре мерења у овом случају су ISO 10534-1:1996 и ASTM-E 1050.

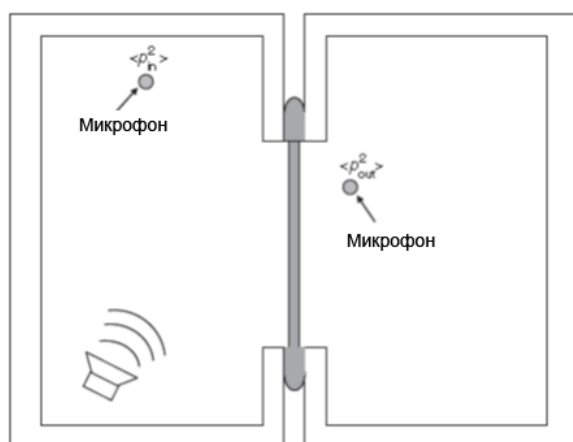
Диск испитиваног материјала, слика 23, се поставља на страну супротну од акустичког извора (звучника). Нормална акустичка импеданса се рачуна преко нивоа звучног притиска мерених микрофонима постављеним унутар цеви.



Слика 23 – Кунтова цев [13]

3.1.5 Мерење губитака у преносу звука

Мерење губитака у преносу дефинисано је међународним стандардима, посебно ISO 10140-3:2010/Amd 1:2015 и ASTM E90-09. Они захтевају коришћење две реверберационе коморе (запремине најмање 63 m^3) које су обе окренуте ка истом прозору на коме се може поставити испитивани део, слика 24. Прозор има димензије $2,8 \text{ m} \times 3,6 \text{ m}$. Једна комора се користи за извор звука – коришћењем једног или више звучника који покривају цео опсег фреквенција од интереса и генеришу дифузно звучно поље. У другој комори се мери бука умањена постојањем испитиваног узорка: веома је битно имати само једну акустичку путању која пролази кроз испитивани узорак, без „цурења“ звука и са врло добром изолацијом заједничког зида између две реверберационе коморе.



Слика 24 – Мерење губитака у преносу звука

3.2 СУБЈЕКТИВНА ОЦЕНА УНУТРАШЊЕ БУКЕ ВОЗИЛА

Методе објективне оцене унутрашње буке возила се уобичајено користе у процесу побољшања акустике возила. Међутим, без обзира на то, јасно је да је субјективан утисак о нивоу и квалитету буке возила важан фактор при куповини возила.

Субјективна оцена унутрашње буке возила може се користити за оцену квалитета звука и за дијагнозу узрока лошег квалитета звука [4]. Квалитет звука се најбоље оцењује од стране панела потенцијалних купаца, док дијагнозу узрока лошег квалитета звука могу да поставе специјалисти за побољшања дизајна.

Субјективна оцена квалитета унутрашњег звука возила може се одредити коришћењем:

- методе оцене у вожњи, при чему чланови панела одговарају на питања у вези сопственог искуства при вожњи предметног возила (и можда возила конкурентних произвођача) и
- методе оцене у слушаоници, при чему чланови панела оцењују квалитет снимљеног звука у слушаоници или преко слушалица.

Метода оцене у вожњи је најсложенија и најскупља, јер, да би се постигла статистичка значајност, потребно је учешће многих оцењивача који би возили дуге тест вожње дуж претходно одређених путања. Уколико се одабере ова метода, могућа је примена две стратегије. Прва је да возачи рангирају звук који чују. Тако, ако се оцењује само једно возило, члан панела може да рангира квалитет звука дескрипторима који најбоље описују њихов утисак о звуку возила:

- тих,
- луксузан,
- снажан,
- спортски,
- угодан,
- неугодан,
- бучан,
- уобичајен,
- необичан.

Када се оцењују возила конкуренције, може се користити релативно рангирање, као на пример: „возило А је тише од возила Б“, „возило Б је више спортског звука од возила А“, итд. Према алтернативној методи рангирања, чланови панела треба да одговоре на питања са могућа два одговора, као: „Шта најбоље описује ниво буке – тих или бучан?“

Уместо рангирања, од чланова панела се може тражити да оцене (обично на скали од 1 до 10) сваки дескриптор. Оцена 0 дескриптора „тих“ значила би да је возило бучно, док би оцена 10 означила веома тихо возило. Ова оцена интензитета је често

тешка за необучене чланове панела. Алтернатива је поставити скалу за двојна питања као:

Да ли је возило

Тихо?

Бучно?

екстремно, веома, донекле, није, донекле, веома, екстремно

Метод коришћења лабораторије-слушаонице је различит од метода оцено у возњи. Ту се вештачка глава (и торзо) поставља на седиште возила и снимају се бинаурални записи унутрашње буке. После тога, може се приступити оцени рангирањем, удвојеним рангирањем и оценом интензитета код статистички значајног броја чланова панела у слушаоници. Сваки члан панела може се испитати посебно или се формирају групе од десет особа које чине жири за оцену.

Осим безбедности и трошкова, значајна предност тестова у слушаоници у односу на тестове у возњи је да се записани звуци могу дигитално обрадити, а промењени звуци могу да се користе за утврђивање шта се допада купцима, без трошкова прављења прототипа возила.

Напредне дигиталне технике могу да се користе од стране панела специјалиста за побољшања на возилу, у циљу дијагнозе узрока лошег квалитета звука. У супротном, оцено интензитета у возњи се уобичајено користе када панел има прилику да вози тестирано возило. Већина испитивања укључује панел корисника који возе возила или се возе у возилима дуж унапред утврђење путање на јавним путевима и који оцењују следеће елементе буке:

- буку ветра,
- буку пута,
- буку мотора,
- буку при празном ходу,
- буку при кретању константном брзином,
- буку система за пренос снаге,
- опште потресе и вибрације,
- шкрипу, звечање и подрхтавање,
- квалитет возње,
- возне карактеристике и
- буку која је особина возила (звуци издувног система спортског аутомобила, итд.).

Оцене се расподељују према уобичајеној скали од 1 до 10 приказаној у Табели 2.

Табела 2 – Заједничка шема субјективне оцено унутрашње буке возила

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
неприхватљиво			за замерку	потребно побољшање	средња	мала	веома мала	у траговима	без трагова

Оцена мања од 4 је неприхватљива за било који атрибут. Оцене 5 и 6 су граничне, а оцена 7 или више било ког атрибута је прихватљива. Већина нових аутомобила се лансирају на тржиште са субјективним оценама 7 и 8 код већине атрибута. Додатни атрибути за оцену буке од посебног извора као што је дизел мотор могу бити:

- укупни ниво буке,
- нискофреквентни садржај и ехо,
- импулсивност,
- хармонијски садржај,
- присуство јаких тонова,
- неправилност и
- високофреквентни садржај.

3.3 СТАНДАРДИ ЗА МЕРЕЊЕ УНУТРАШЊЕ БУКЕ ВОЗИЛА

Најважнији резултат дугогодишњег рада у оквиру Сектора за саобраћај Економске комисије Уједињених нација за Европу је чак 55 међународних споразума и конвенција које обезбеђују законски и технички оквир за развој друмског, а и осталих видова саобраћаја. Ти споразуми и конвенције се стално ажурирају и правно обавезују земље потписнице у области саобраћаја.

Један од најзначајнијих прописа, усвојен и у нашој земљи, је „Споразум о усвајању једнообразних техничких прописа за возила са точковима, опрему и делове који могу бити уграђени и/или коришћени на возилима са точковима и условима за узајамно признавање додељених хомологација на основу ових прописа“ („Сл. гласник РС – Међународни уговори“ бр. 11/2011). Према том споразуму, донето је 113 ЕСЕ правилника, а у припреми је још неколико. На основу тих правилника су дефинисани захтеви и начини испитивања, како моторних возила у целини, тако и њихових делова и опреме, у погледу безбедности и еколошких карактеристика. На основу њих се врши и хомологација моторних возила, њихових делова и опреме. Наша земља је усвојила и примењује 55 ЕСЕ правилника, јер је примена усвојених правилника обавезна и регулише се одговарајућим уредбама које доноси влада Србије и које се објављују у „Службеном гласнику РС“.

Најважније међународне организације које доносе стандарде из области мерења и анализе буке су:

- IEC - Међународна електротехничка комисија (енг. *International Electrotechnical Commission*) и
- ISO – Међународна организација за стандардизацију (енг. *International Organization for Standardization*).

IEC је надлежна за конструкцију инструмената за мерење буке, а ISO, као носилац стандардизације, надлежна је у подручју мерне технике, експерименталних услова, мерних параметара и дозвољених граница за резултате мерења.

Најзначајнији ИЕС стандарди који се односе на мерење буке уопште, а које морају да задовоље и уређаји за мерење унутрашње буке возила су:

- ИЕС 61094-1:2000 – Електро-акустика – Мерни микрофони – Део 1 – Спецификације за стандардне лабораторијске микрофоне и
- ИЕС 61672-1:2013 – Електро-акустика – Мерачи нивоа звука – Део 1 – Спецификације.

Стандард ИЕС 61094-1:2000 наводи механичке димензије и одређене електро-акустичке карактеристике кондензаторских микрофона коришћених у лабораторији као стандардна опрема за реализацију јединице за мерење нивоа звучног притиска највеће могуће тачности. Спецификације служе за осигурање да се основна калибрација може обавити методом реципроцитета. Установљен је систем за класификацију лабораторијских стандардних кондензаторских микрофона на више типова према њиховим димензијама и особинама.

Стандард ИЕС 61672-1:2013 наводи спецификације електро-акустичких перформанси за три врсте мерних инструмената за мерење звука, који су намењени да мере звука у опсегу људског слуха. Стандард предвиђа две категорије уређаја: класе 1 и класе 2. Прихватљиви нивои уређаја класе 2 су већи или једнаки прихватљивим нивоима уређаја класе 1. Према овом стандарду, мерило нивоа звука може бити самостални ручни инструмент са везаним микрофоном и уграђеним показним уређајем. Мерило нивоа звука може бити састављен од посебних компоненти у једном или више кућишта и може да прикаже разне нивое акустичких сигнала. Уређаји могу да укључе екстензивну аналогну или дигиталну обраду података уз вишеструке аналогне и дигиталне излазе. Могу да укључе и компјутере опште сврхе, рекордере, штампаче и друга средства која чине неопходне делове комплетног инструмента. Такође, мерила нивоа буке могу бити дизајнирана за коришћење од стране оператера или за аутоматско и континуално мерење нивоа звука без присуства оператера.

3.3.1 Мерење унутрашње буке возила према стандарду ISO 5128:1980

Стандард ISO 5128:1980 за мерење буке унутар моторних возила је развијен од стране Техничког комитета ISO/TC 43, јула 1976. године, а прво издање је било 1980. године. Последњи пут је разматран и потврђен 2013. године. Тренутно је у току провера овог стандарда од стране ISO, радне групе 42, у смислу одређивања обима промена стандарда, који би могао да укључи: повезивање стандарда са општим стандардима о безбедности и здрављу на раду (посебно заштити од губитка слуха), стандардизовану оцену унутрашње буке возила ради поређења између возила (увођење налепнице са подацима о буци, инжењерских оцена) и разумљивости акустичких информација у склопу интелигентних транспортних система [16].

Стандард ISO 5128:1980 одређује услове за добијање поновљивих и упоредивих резултата мерења нивоа буке и спектра буке у унутрашњости свих врста моторних возила која се користе на путу, укључујући и она код којих возач и/или путници седе у отвореној кабини, али не укључује пољопривредне и шумске тракторе, који покрива стандард ISO 5131:2015 [17].

Резултати мерења унутрашње буке возила могу да се користе за:

- одлучивање да ли је бука у унутрашњости возила у складу са спецификацијама,
- процену ризика од оштећења слуха (заједно са подацима о изложености буци),
- рангирање степена интерференције говора и
- усмеравање програма мерења у циљу проучавања поступака за смањење емитоване буке.

Мерења обављена према овом стандарду могу, по природи да буду:

- верификациона – мерења обављена да би се доказало да се возило које испоручује произвођач уклапа у спецификацију о буци и
- контролна – мерења обављена у циљу провере да ли је бука возила још увек у оквиру прописаних граница и да се нису јавиле уочљиве промене од тренутка испоруке возила.

МЕРНЕ ВЕЛИЧИНЕ

Вредности које се мере на свим позицијама микрофона током контролних тестова су А-пондерисани нивои звучног притиска, изражени у dB.

За спектралну анализу на изабраним позицијама микрофона током додатних специјалних тестова, величине које се мере треба да буду нивои звучног притиска појаса октаве или 1/3 октаве у dB, који покривају минимални опсег фреквенција од 45Hz до 11200Hz. Предност имају нивои звучног притиска ширине 1/3 октаве.

Сва читавања са мерила звучног притиска треба да се узимају при динамичкој карактеристици "fast".

МЕРНА ОПРЕМА

Мерило нивоа звука (фонометар) треба да буде класе прецизности 1, према IEC 651 (заменењен са IEC 61672-1:2013). При томе, треба водити рачуна да усмереност микрофона може да утиче на мерења, па се тип микрофона наводи у извештају. Такође, при мерењима може да се користи одговарајући штитник за микрофон, да би се смањио утицај ветра на мерења на отвореном простору.

Додатна мерна опрема мора да има електро-акустичке перформансе које су у складу са IEC 651 опремом (заменењен са IEC 61672-1:2013) тип 1. За одређивање спектра звука треба користити филтере који задовољавају IEC 225 [17]. Фонометре треба калибрисати у интервалима не дужим од две године.

Мерна опрема треба да покрије фреквентни опсег од 45Hz до 11200Hz. Брзина возила и број обртаја мотора треба мерити са тачношћу од најмање 3 %.

АКУСТИЧКА СРЕДИНА, ВРЕМЕНСКИ УСЛОВИ, СМЕТЊЕ ОД БУКЕ У ПОЗАДИНИ

Место обављања теста требало би да буде такво да звук које возило емитује у околину доприноси унутрашњој буци само преко рефлексација од површине пута, а не од рефлексација од зграда, зидова и сличних великих објеката изван возила. Током трајања мерења, удаљеност возила од великих објеката треба да је већа од 20m.

Температура околног ваздуха у коме возило ради треба да је у опсегу -5°C до $+35^{\circ}\text{C}$. Брзина ветра дуж мерне стазе мерена на висини од приближно 1,2m не треба да пређе 5ms^{-1} . Остали метеоролошки услови треба да буду такви да не утичу на резултате мерења.

Код свих мерења А-пондерисаног нивоа звучног притиска, доња граница динамичког опсега (коју диктирају сметње од буке у позадини и ниво присутне буке мерне опреме), треба да буде најмање 10 dB испод А-пондерисаних нивоа звучног притиска буке самог возила.

УСЛОВИ МЕРНЕ ЛОКАЦИЈЕ

На унутрашње нивое звучног притиска моторних возила знатно утиче макроструктура неравнина пута, при чему глатке површине пута производе стабилне унутрашње нивое. Према томе, мерна деоница треба да буде чврста и што је могуће више глатка и равна, без рупа које би могле да доприносе повећању нивоа унутрашњег нивоа звучног притиска.

УСЛОВИ КОЈЕ ТРЕБА ДА ЗАДОВОЉИ ВОЗИЛО

Током теста, сви радни услови мотора треба да одговарају спецификацијама које даје произвођач, као што су: гориво, уље за подмазивање, тренутак паљења или убризгавање пумпе за убризгавање. Мотор треба да се стабилизује на нормалној радној температури непосредно пре извођења теста. Пнеуматици треба да буду типа које наводи произвођач возила, као и да се напумпају до притиска који наводи произвођач.

Пнеуматици треба да су скоро нови – уз пређених најмање 300 km. Точкови возила треба да су статички и динамички избалансирани (небалансирани точкови утичу на унутрашњу буку).

Уколико су хладњаци мотора опремљени преклопницима, мерења се врше за два могућа услова (отворено и затворено).

Почетни услови оптерећења треба да одговарају стандарду ISO 1176:1990. Возило треба да је неоптерећено. У унутрашњости возила треба да се налазе само стандардна опрема возила, мерна опрема и неопходно особље. У путничким возилима и кабинама камиона и трактора треба да се налазе не више од две особе (возач и посматрач), а код возила јавних служби са више од 8 седишта, не више од 3 особе.

Отвори као што су отвор на крову, сви прозори и вентилациони улази и/или излази треба да су, ако је могуће, затворени, осим ако се не испитује њихов утицај на ниво звука унутар возила.

Помоћна опрема као што су: брисачи стакла, вентилатори за грејање и/или проветравање и клима уређаји не треба да раде током теста.

Подесива седишта треба да буду постављена у средњи положај у односу на хоризонтални и вертикални опсег подешавања.

Услови рада возила треба да су такви да обухвате унутрашњу буку под било којим од следећих услова који одговарају тестираном возилу:

- тест константне брзине кретања возила,
- тест убрзања при пуном отвору лептира и
- стационарни тест са мотором на празном ходу као додатни контролни тест за комерцијална возила и аутобусе са дизел моторима.

Константне брзине кретања возила треба да су у распону од 60 kmh^{-1} или 40 % од максималне брзине возила (која год да је нижа), до 120 kmh^{-1} или 80% од максималне брзине возила (која год да је нижа). А-пондерисани нивои звучног притиска треба да се мере за најмање 5 брзина на једнаким интервалима, да би се покрио горе наведени опсег.

Мерења се могу изводити по једној од следећих метода:

- при спором убрзавању у горе наведеном распону брзина са порастом убрзања довољно малим да би се добиле исте вредности А-пондерисаног нивоа звучног притиска као код одговарајуће константне брзине, при чему се вредности читавају при одабраним брзинама или
- возило се креће константним одабраним брзинама и читавају се одговарајуће вредности (треба да се користи интервал мерења од најмање 5s).

Код убрзања при пуном отвору лептира, процедура теста је следећа:

- брзина возила и број обртаја мотора треба да се стабилизују при наведеним почетним условима,
- када се постигну стабилни услови, лептир треба да је потпуно отворен што је брже могуће, а мерење звука треба да буде обављено док се не достигне 90% од броја обртаја мотора при максималној снази или док се не достигне брзина од 120 kmh^{-1} , односно мања од те две брзине.

Почетни радни услови треба да су наведени на следећи начин:

- преносни однос мењача треба да је највећи тако да тест буде могућ без прекорачења брзине од 120 kmh^{-1} ,
- преносни однос мењача не треба да се мења током теста,
- ако при броју обртаја од 90 % броја обртаја при максималној снази, путна брзина у највећем степену преноса прелази 120 kmh^{-1} , треба одабрати мањи степен преноса, али не мањи од 3. степена преноса код четворостепених

или петостепених мењача и не мањи од 2. степена преноса код тростепеностепеног мењача,

- почетни број обртаја мотора треба да је најнижи који омогућава континуално растући број обртаја мотора током теста, али не мањи од 45% броја обртаја при максималној снази, осим уколико се брзина од 120 kmh^{-1} не прелази при 90% броја обртаја при максималној снази у најнижем дозвољеном степену преноса, у ком случају почетна брзина обртаја мотора треба да одговара путној брзини од 60 kmh^{-1} .

Процедура код стационарних тестова, која треба да се спроведе са мењачем у неутралном положају је следећа:

- мотор треба да ради на празном ходу при малом броју обртаја и
- лептир треба да је потпуно отворен што је брже могуће дозвољавајући да мотор убрза до празног хода при високом броју обртаја и треба да се држи отвореним најмање 5 s.

ПОСТАВЉАЊЕ МИКРОФОНА

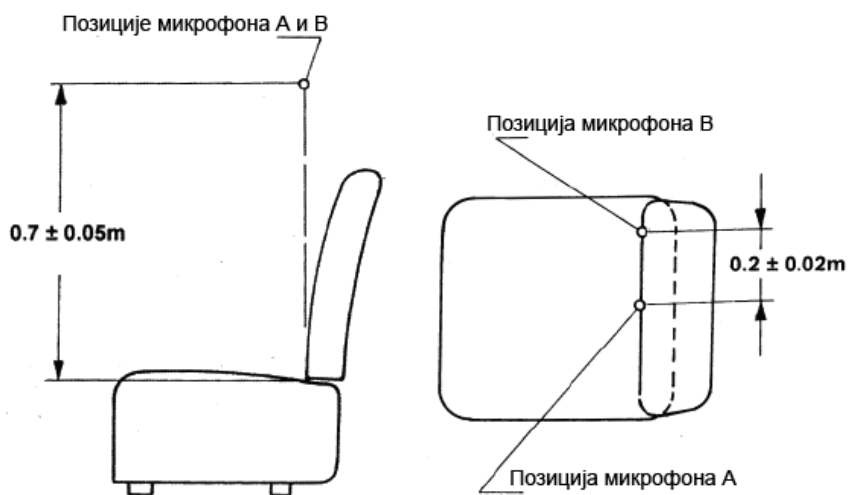
Мерна места треба да су изабрана у довољном броју и на такав начин да је расподела буке у возилу адекватно представљена у односу на позицију уха возача и путника. Једно мерно место треба да буде на месту возача. Код путничких возила, довољно је да постоји додатно место у задњем делу возила. Код аутобуса ће, највероватније бити потребна додатна мерна места на средини и на крају возила у близини подужне осе возила. Тамо где је погодно, треба укључити и места за седење и места за стајање.

Микрофон треба да буду на растојању не мањем од $0,15 \text{ m}$ од зидова возила и тапацираних површина. Треба да буде постављен хоризонтално, у правцу максималне осетљивости дате од стране произвођача микрофона, који се поклапа са смером у коме би гледала особа која би седела или стајала на мерном месту, или, ако тај правац није дефинисан, у правцу вожње.

Вертикална координата микрофона треба да буде $0,7 \pm 0,05 \text{ m}$ изнад пресека површине празног седишта и леђног наслона, слика 25 лево. Хоризонтална координата треба да буде у вертикалној равни симетрије седишта, слика 25 десно. Код возачевог седишта, у присуству возача, хоризонтална координата треба да буде $0,2 \pm 0,02 \text{ m}$ удесно (код возила са точком управљача на левој страни) од вертикалне равни симетрије седишта.

Позиција микрофона на местима за стајање треба да је $1,6 \pm 0,1 \text{ m}$ изнад пода возила. Хоризонталне координате треба да одговарају положају особе која стоји у изабраним тачкама.

У кабинама за спавање (у камионима или амбулантним колима), микрофон треба поставити $0,15 \pm 0,02 \text{ m}$ изнад некоришћеног јастука.



Слика 25 – Мерење унутрашње буке возила према ISO 5128:1980 [17]

ПРОЦЕДУРА ТЕСТА

При тесту кретања возила константним брзинама, вредности А-пондерисаног нивоа звучног притиска се мере за најмање 5 брзина.

Код теста убрзавања при потпуно отвореном лептиру, у Извештају са мерења се наводи максимална вредност А-пондерисаног нивоа звучног притиска, која се јавља у опсегу убрзања.

Код стационарних тестова, мере се и наводе у извештајима са теста, величина А-пондерисаног нивоа звучног притиска при празном ходу на малом броју обртаја мотора и максимална вредност која се јавља када је лептир потпуно отворен.

Код верификационих испитивања, треба обавити најмање два мерења на свакој позицији микрофона и за сваку услов рада. Ако расипање резултата мерења А-пондерисаног нивоа звучног притиска превазиђе 3 dB, обављају се додатна мерења, све док резултати два узастопна мерења не уђу у тај опсег. Као резултат теста, записује се средња вредност ова два читавања.

Вредности записане у Извештају са испитивања треба да се заокруже на ближи цео број децибела.

ИЗВЕШТАЈ СА ИСПИТИВАЊА

Стандард ISO 5128:1980 предвиђа да Извештај са испитивања треба да садржи следеће информације [17]:

- природу теста,
- мерно место, услове пута и времена, брзину и правац ветра,

- мерну опрему,
- буку у позадини и корекције које су извршене над подацима (уколико их има),
- возило, његов мотор, степен преноса мењача и брзину током тестова, пнеуматике (дизајн ткања и степен хабања), притиске у пнеуматичима,
- помоћну опрему и њене услове рада, позиције отвора и подесивих седишта,
- оптерећење возила, број особа у возилу,
- позиције микрофона (означене на плану),
- А-пондерисане нивое звучног притиска на одређеним позицијама микрофона, спектар буке, ако се мери, уз навођење корекција које су примењене на подацима и
- присуство чистих тонова или буке импулсног карактера.

3.4 ОПРЕМА ЗА МЕРЕЊЕ УНУТРАШЊЕ БУКЕ ВОЗИЛА

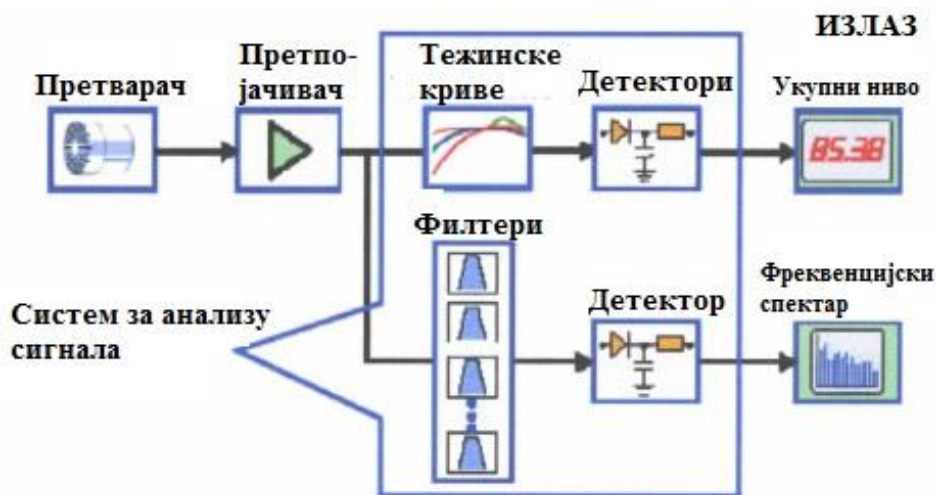
Обављање експерименталних истраживања мерења буке је неопходно уз одговарајућу мерну опрему. Та опрема обезбеђује поуздане и тачне податке неопходне за даљу анализу. Данас је у употреби широк дијапазон мерних инструмената намењених за мерење параметара буке у амплитудном, временском и фреквентном домету. Физички параметри буке се мере на различите начине у зависности од тога који се прописи примењују и које норме су за одређену област предвиђене. Последњих десетак година мерни инструменти су израђивани искључиво у складу са међународним прописима, да би се добијени резултати лакше упоредили.

Без обзира што мерни инструменти могу по природи бити различити (аналогни, дигитални или засновани на софтверском решењу), у суштини, сваки мерни ланац (систем) за мерење буке се састоји из неколико елемената, слика 26.

Претварач са слике 26 претвара звучне осцилације изазване дејством звучних таласа у електричне сигнале. Појачивач појачава електрични сигнал релативно мале амплитуде која се добија на излазу претварача. Задатак система тежинских кривих јесте да пондерише сигнал у фреквентном домену, чиме се добија тренутни ниво сигнала са одређеном (нпр. А, В, С или линераном) пондерацијом. За анализу сигнала у фреквентном домену служе филтери, а као резултат овакве анализе добија се фреквентни спектар анализираног сигнала. За одређивање ефективне вредности сигнала служи детектор, а резултати мерења и анализе буке се могу приказати на дисплеју самог инструмента или на неком другом уређају као што је штампач или монитор рачунара.

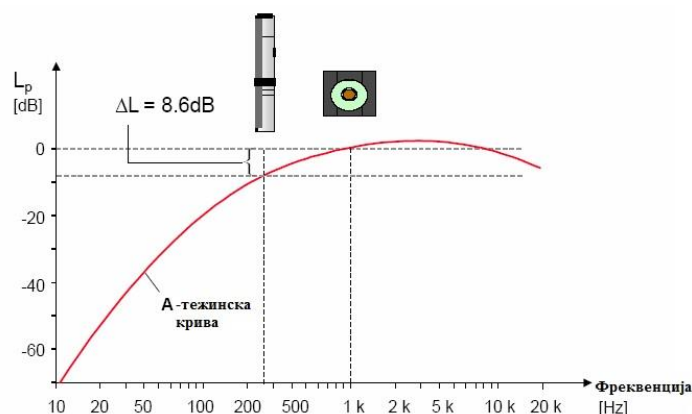
Мерења се врше када је температура околног ваздуха у опсегу од 0,5°C до 40°C. На почетку и на крају сваке серије мерења, цео акустични систем за мерење се проверава помоћу калибратора звука. Калибратор звука треба да испуни захтеве у складу са ИЕС 60942:2003. Без икаквог даљег подешавања, разлика између читавања мора бити мања или једнака 0,5 dB. Ако се ова вредност прекорачи, резултати мерења биће одбачени. Сва мерила звука имају уграђене А-тежинске криве. Разлог је тај што је

људско ухо мање осетљиво када су у питању веома ниске и веома високе фреквенције, па се онда током мерења звука користе одређени корекциони (пондерисани) филтери.



Слика 26 – Мерни ланац за мерење и анализу буке

Током коришћења система који укључује периодично праћење нивоа А-пондерисаног звучног притиска, читање треба да буде у интервалима не већим од 30 ms. Инструменти треба да се одржавају и калибришу у складу са упутствима произвођача. На слици 27 дат је приказ калибрације и А-тежинске (пондерисане) криве, са кога се види да се коришћењем калибратора звука, чија је фреквенција калибрације 250 Hz, добија ниво сигнала од 8,6 dB, који је мањи него када се користи калибратор нивоа звука чија је фреквенција 1000 Hz приликом укључене А-тежинске криве. Зато је потребна опрезност током калибрације мерног система, када је укључена тежинска крива. [18]



Слика 27 – Калибрација и А-тежинска крива [18]

Усклађеност калибратора звука са захтевима стандарда ИЕС 60942:2003 проверава се једном годишње, док се усклађеност инструментације са захтевима стандарда ИЕС 61672-1 проверава минимално на сваке две године. Проверу врши

лабораторија која је овлашћена за обављање калибрације, према одговарајућим стандардима.

3.4.1 Мерни микрофони

Мерни микрофон је калибрисани микрофон дизајниран за рад са системима који оцењују квалитет звука, као што су, на пример, мерила нивоа звука - фонометри. То су најтачнији и најпоузданији расположиви микрофони.

Технички гледано, микрофони су електро-акустички уређаји који претварају акустичку енергију у електричну енергију. Сви микрофони имају механички осцилаторни систем са покретном мембраном или покретном површином коју побуђују звучни таласи. Мембрана је везана еластично, тако да се у одсуству спољашње силе враћа у првобитни положај. Одговарајући излаз је електрични сигнал који представља акустички излаз.

Основне електро-акустичке карактеристике микрофона су:

- принцип рада (потребно га је познавати да би се микрофон могао правилно употребити),
- фактор претварања (осетљивост - величина која означава колико је неки микрофон осетљив на звучне таласе који до њега допиру),
- карактеристика усмерености (директивност - врста осетљивости која показује како и колико осетљивост микрофона зависи од угла под којим звучни таласи доспевају на микрофон),
- фреквентна карактеристика (осетљивост микрофона на различите фреквенције аудио спектра),
- импеданса (унутрашња отпорност - говори о томе како се микрофон понаша као генератор електромоторне силе),
- динамички опсег (представља разлику између нивоа најјачег и најслабијег звука који микрофон може пренети, уз одређени дефинисани износ изобличења,
- степен искоришћења (однос добијене електричне снаге на излазу микрофона и улазне акустичке снаге),
- изобличења (код врхунских микрофона за професионалну употребу - веома мала) и
- однос сигнал – шум (изражава релацију између номиналног нивоа звука од 94 dB и А-пондерисаног еквивалентног нивоа шума микрофона).

ПОДЕЛА МИКРОФОНА

Према акустичкој подели, постоје следеће врсте микрофона:

- пресиони микрофони или микрофони који раде на притисак, код којих су брзина или померај мембране сразмерни притиску у звучном пољу,

- градијентни микрофони или микрофони који раде на разлику притисака, код којих су брзина или померај мембране сразмерни градијенту притиска у звучном пољу и
- комбиновани микрофони или микрофони код којих на кретање мембране утичу, комбиновано, и притисак и градијент притиска.

Микрофони се класификују и према томе како разликују из ког правца долазе таласи са извора звука [18]. Са овог аспекта, разликују се:

- неусмерени (омнидирекциони, кружни – пријем је исти из свих смерова),
- двосмерни (бидирекциони – пријем је исти из два супротна смера, а једнак нули из два смера управна на претходни правац),
- усмерени (једносмерни – пријем је само из једног смера).

Електрична подела микрофона дели микрофоне према начину на који претварају акустичку енергију у механичку. Најзначајније групе микрофона у овом смислу су:

- графитни (угљени),
- електродинамички (динамички),
- пиезоелектрични (кристални, керамички),
- кондензаторски (електро-статички),
- електрет и
- специјални.

Графитни (угљени, контактни) микрофони су они код којих се у електричном пољу јавља променљива струја због промене контакта угљених зрнаца при кретању мембране. Употребљавају се још једино у телефонским апаратима старије технологије, па се зато називају и телефонски микрофони. То су најјефтинији микрофони најнижег квалитета.

Електродинамички (динамички) микрофони се деле на микрофоне са калемом и микрофоне са траком. Раде као обрнути звучници.

Пиезоелектрични (кристални, керамички) микрофони имају плочице направљене од пиезоелектричних материјала, као што су кристал кварца, Сењетова со и др. Осетљиви су на механичке ударе и влагу.

Кондензаторски (електростатички, класични) микрофони су микрофони највећег квалитета. Имају равну фреквентну карактеристику, осетљиви су и механички неотпорни на ударе. Израђују се као неусмерени, двосмерни и усмерени.

Електрет микрофони користе диелектричне материјале (халокарбонски - тефлон, аklar; органски полимери – полиестер, полипропилен и поликарбонат) који после одређеног технолошког поступка задржавају сталну електричну поларизацију без присуства спољашњег напона. Понашају се слично као стални магнети који имају константно магнетно поље. Карактеришу их: једноставност, поузданост, велика капацитивност, отпорност на потресе и влажност ваздуха.

Специјални микрофони су:

- грлени (ларингофони) – користе се у бучним условима (стадиони, пилоти),
- краватни (*Lavalier*, бубице) – користе се у условима не велике буке, усмерени су и раде на удаљености од 10 до 15 cm од извора звука,
- микрофони са додацима за усмеравање – користе се за снимање на отвореном, а додатак може бити и цев која усмерава звук на мембрану.

За инжењерска и научна мерења нивоа звука, обично је захтевана прецизност кондензаторских микрофона, па ће они бити детаљније описани.

КОНДЕНЗАТОРСКИ (КАПАЦИТИВНИ) МИКРОФОНИ

Кондензаторски микрофон, слика 28, у основи се састоји од пет елемената; заштитне решетке, кућишта микрофона, мембране, непокретне плоче и изолатора [20].



Слика 28 – Кондензаторски микрофон

Мембрана и непокретна плоча формирају паралелне плоче ваздушног кондензатора. Овај кондензатор је поларизован напоном са спољашњег извора напајања или електричним напајањем убаченим директно на изолациони материјал непокретне плоче. Када се мења звучни притисак у звучном пољу, растојања између мембране и непокретне плоче се мењају и, последично, мења се капацитет кондензатора мембрана/непокретна плоча. Пошто се напон напајања кондензатора одржава константним, промена капацитета генерише излазни напон на излазном воду микрофона. Акустичке перформансе микрофона зависе од: физичких димензија (као што је површина мембране), растојања између мембране и непокретне плоче, крутости и масе ослоњене мембране и унутрашње запремине кућишта микрофона. Ови фактори одређују фреквентни опсег микрофона, осетљивост и динамички опсег.

Мембрана кондензаторског микрофона је дебљине од 10 до 15 μm и направљена је од метала (никла) или синтетичких материјала пресвучених металом (златом, јер не рђа). Плоча је направљена од чврстог месинга или пластике пресвучене металом и постављена је близу мембране (на растојању од 10 до 20 μm) да би се постигла већа осетљивост. Капацитет је око 50 pF, а осетљивост је већа од 10 μVPa^{-1} . Фреквентни опсег покрива скоро читав аудио-спектар од 20 до 20000 Hz.

3.4.2 Мерила нивоа звука - фонометри

Фонометри су инструменти за мерење нивоа звука (нивоа буке). Обично су то ручни уређаји са микрофоном. Мембрана микрофона одговара на промене ваздушног притиска које изазивају звучни таласи, па се зато ови инструменти називају и мерила нивоа звучног притиска. Померање мембране микрофона, односно промена звучног притиска се претвара у фонометрима у електрични сигнал.

Савремени фонометри се, према стандарду ИЕС 61672-1 деле у две класе које имају исти принцип функционисања, али различите толеранције грешке. Инструменти класе 1, слика 29, имају шири фреквентни опсег и ужу толеранцију од јефтинијих инструмената класе 2. За потребе научних истраживања, користе се фонометри класе 1.



Cirrus Research
171BOptimus



SvanteK Svan 979



Cesva SC 310



Rion NL-62



Norsonic Nor 140

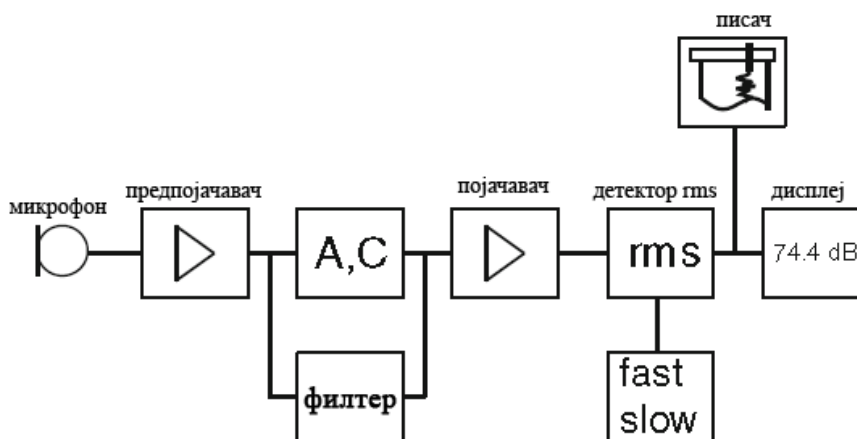


B&K 2270

Слика 29 – Савремени фонометри класе 1 према ИЕС 61672-1

Захтеви за мерила нивоа звука, начин утврђивања испуњености захтева за мерила, означавање мерила, начин испитивања типа мерила, методе мерења и начин и услови оверавања мерила, у нашој земљи су регулисани „Правилником о мерилима нивоа звука“ [21]. Овај Правилник се примењује на мерила намењена за мерење буке у животној и радној средини, ради обезбеђења заштите здравља и безбедности људи. Сматра се да мерило испуњава захтеве овог Правилника, ако испуњава одговарајуће захтеве домаћег стандарда SRPS EN 61672-1:2010 – „Електроакустика – Мерачи нивоа звука – Део 1: Спецификације“. Најновије издање поменутог стандарда је SRPS EN 61672-1:2015 које је идентично са стандардом EN 61672-1:2013 CLC/SR 29.

Основне компоненте фонометра приказане су на слици 30: микрофон, предпојачавач, А - , С - или појасни филтер, појачавач, детектор rms вредности и писач или дисплеј – показни уређај.



Слика 30 – Основне компоненте фонометра [22]

Фонометар приказује или укупан ниво звука у децибелима или врши фреквентну анализу и приказује спектар звука. Основна величина која се мери је ниво звучног притиска, SPL , изражена у децибелима:

$$SPL = 20 \log \frac{\tilde{p}}{p_0}, \quad (3.1)$$

где је $\tilde{p}$ - квадратни корен из средње квадратне вредности (rms) временске функције звучног притиска, $p(t)$, одређен током времена осредњавања, T , према:

$$\tilde{p} = \sqrt{\frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} p^2(t) dt}. \quad (3.2)$$

4.МЕТОДОЛОГИЈА МЕРЕЊА УНУТРАШЊЕ БУКЕ ВОЗИЛА У ОКВИРУ ЛАБОРАТОРИЈЕ ЗА МОТОРНА ВОЗИЛА

У Лабораторији за моторна возила Факултета инжењерских наука формирана је методологија мерења унутрашње буке возила уз коришћење расположиве опреме и стационарног теста према стандарду ISO 5128:1980.

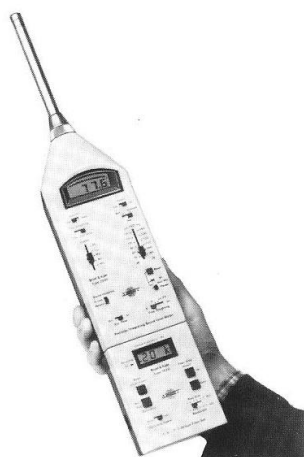
4.1. ПРЕДМЕТ ИСПИТИВАЊА

У оквиру експерименталних испитивања обављених у Лабораторији за моторна возила Факултета инжењерских наука, обављено је мерење интензитета унутрашње буке возила Југо Флорида 1.3 EFI, у близини возачевог уха (изнад возачевог седишта), при стационарном тесту описаном у међународном стандарду ISO 5128:1980.

Извршена мерења могу да послуже за оцену унутрашње буке возила, односно степена изложености возача буци унутар возила, али и као база за поређење акустичких особина наведеног возила са истим особинама других возила исте класе.

4.2. МЕРНЕ ВЕЛИЧИНЕ И НАЧИН ЊИХОВОГ МЕРЕЊА

Основна мерна величина при мерењима унутрашње буке возила је ниво звучног притиска. Лабораторија за моторна возила Факултета инжењерских наука поседује мерну опрему за мерење буке која одговара потребама предметног мерења: прецизни интеграциони фонометар Brüel&Kjær2230, слика 31 а), опремљен кондензаторским микрофоном Brüel&Kjær4155, слика 31 б).



а)



б)

Слика 31 – Опрема за мерење буке: а) прецизни интеграциони фонометар В&К 2230 са сетом филтера В&К 1625, б) микрофон В&К 4155

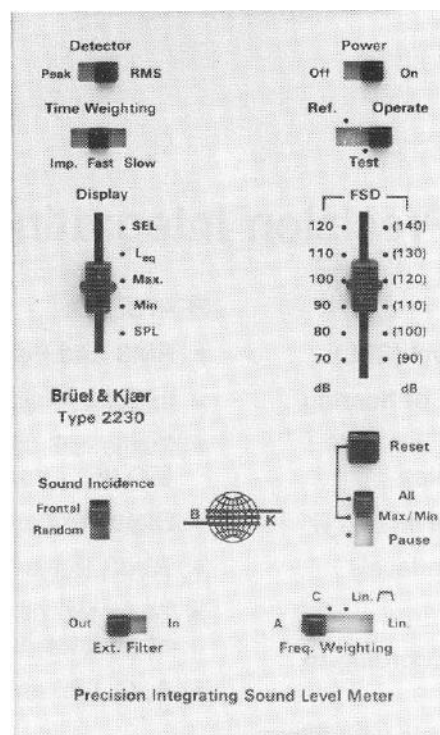
Коришћењем одговарајућих преклопника са слике 31, фонометар B&K 2230 може да измери и покаже следеће вредности:

- **SPL** (*Sound Pressure Level*) - ниво звучног притиска у границама 24÷130 dB (30÷150 dB са атенуатором),
- **Max/Min** – максимални и минимални ниво звучног притиска од ресетовања,
- **L_{eq}** – 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):

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad (4.1)$$

- **SEL** (*Sound Exposure Level*) – константни ниво звука који би, ако се задржао у току 1 s имао исту акустичну енергију као и А-пондерисана измерена бука:

$$SEL = 10 \log \frac{1}{\tau_{ref}} \int_0^T \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt, \quad \tau_{ref} = 1s \quad (4.2)$$



Слика 32 – Предњи панел уређаја Brüel&Kjær 2230

За калибрацију мерног ланца, користи се калибратор звука Brüel&Kjær4220, слика 33 или калибрација унутрашњим референтним осцилатором.



Слика 33 – Калибратор звука Brüel&Kjær 4220

У табели 3 приказана су потребна подешавања фонометра за различите типове калибрације.

Табела 3 – Подешавања фонометра за калибрацију

Калибрација калибратором звука B&K 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	АлилиMax./Min.	Reset	АлилиMax./Min.
FREQ. WEIGHTING	Lin	FREQ. WEIGHTING	неважно
EXT. FILTER	Out	EXT. FILTER	Out
SOUNDINCIDENCE	неважно	SOUNDINCIDENCE	Frontal
DISPLAY	SPL	DISPLAY	SPL
TIME WEIGHTING	Fast	TIME WEIGHTING	Fast
DETECTOR	RM»	DETECTOR	RMS

4.3. НАЧИН ПОСТАВЉАЊА МЕРНИХ ИНСТРУМЕНАТА

Планом мерења је одлучено да се мери унутрашња бука возила на радном месту возача. Фонометар је постављен у положај мерења унутрашње буке у возилу у близини десног уха возача, а према захтеву стандарда ISO 5128:1980. То значи да оператер држи фонометар на висини од 70 cm у односу на седиште, померен за 20 cm удесно од вертикалне подужне осе седишта и усмерен у правцу вожње.

4.4. РЕЖИМ РАДА

При мерењима, водило се рачуна да се обезбеде основни услови стационарног теста, према ISO 5128:1980:

- удаљеност од великих објеката већа од 20m,
- брзина ветра мања од 5 ms^{-1} на висини 1.2 m изнад површине тла,
- мењач у неутралном положају,
- мотор ради на празном ходу,
- лептир потпуно отворити што је могуће брже и држати га отвореним најмање 5 s,
- извршити најмање 3 мерења и наћи аритметичку средњу вредност.

4.5. ПОСТУПАК РАДА

Планирано је да у унутрашњости возила буду само возач и оператер мерног инструмента. Оператер седи на задњем седишту лево, иза возача и држи фонометар у задатом положају. Он, такође, врши укључивање и искључивање уређаја, записује очитане вредности нивоа буке и даје инструкције возачу у вези употребе контрола за рад мотора. Врши се 3 мерења нивоа звучног притиска при раду мотора на празном ходу и 3 мерења максималне вредности нивоа звука при максималном отвору лептира. Рачунају се одговарајуће средње вредности нивоа звука (буке) и заокругљују на ближи цео број децибела.

4.6 НАЧИН ПРИКАЗИВАЊА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА

Измерени нивои звучног притиска (SPL) при празном ходу мотора (број обртаја n_{emin}) и максимална вредност (MAX) звучног притиска када је лептир максимално отворен (број обртаја n_{emax}), биће записани у Табели 4.

Табела 4 - Радна табела за уписивање измерених података

Број обртаја мотора	n_{emin}			n_{emax}		
SEL, dB						
L_{eq} , dB						
Max, dB						
Min, dB						
SPL, dB						

Као резултат мерења, усвајају се средње вредности три мерења, заокружене на најближи цео број децибела.

5. ПРИКАЗ И АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА МЕРЕЊА

Мерењем унутрашње буке експерименталног возила YUGO Florida 1.3 EFI, при стационарном тесту, утврђене су следеће вредности нивоа звука, а према плану испитивања, Табела 5:

Табела 5 - Табела са експериментално одређеним нивоима звука у унутрашњости возила YUGO Florida 1.3 EFI

Број обртаја мотора	Π_{emin}			Π_{emax}		
SEL, dB						
L_{eq} , dB						
Max, dB				87,6	88,0	86,8
Min, dB						
SPL, dB	77,9	75,9	75,5			

Средња вредност нивоа звука у унутрашњости возила YUGO Florida 1.3 EFI износи:

$$SPL_{sr} = \frac{77,9 + 75,9 + 75,5}{3} = 76,4 \approx 76 \text{ dB}, \quad (5.1)$$

док максимална вредност нивоа звука при потпуно отвореном лептиру износи:

$$MAX = \frac{87,6 + 88,0 + 86,8}{3} = 87,47 \approx 87 \text{ dB}, \quad (5.2)$$

Имајући у виду вредности унутрашње буке савремених возила, експериментално возило YUGO Florida 1.3 EFI показало је да емитује веома високе нивое унутрашње буке при раду мотора на празном ходу, без оптерећења, као и високе нивое буке при потпуно отвореном лептиру. Поређења ради, најлошије рангирано возило у погледу нивоа унутрашње буке возила при раду мотора на празном ходу, према подацима расположивим на Интернет страници *AutoDecibelDatabase* [5], је BMW 1 135i Cabrio из 2008. године, са измереним нивоом буке од 66,7 dB.

Разлог достизања овако високих вредности нивоа унутрашње буке код возила YUGO Florida 1.3 EFI се налази у томе што експериментално возило припада старијим моделима путничких возила, која су провела много година у експлоатацији. Међутим, евидентно је да експериментално возило не би задовољило захтеве савремених купаца што се тиче комфора унутар путничког простора и да би било потребно применити многобројне мере изолације путничког простора од продора буке кроз ваздух и преко елемената конструкције возила.

6. ЗАКЉУЧАК

Бука је непријатан и непожељан звук који се својом јачином издваја од осталих. У Европи, а и код нас, све више је заступљена бука ниског интензитета. Оваква бука не оштећује слух, али зато може изазвати поремећаје спавања, стресне реакције, узнемиреност и нерасположење, сметње у комуникацији и смањење радне способности. Код дужег излагања органа слуха дејству буке већег интензитета (80 dB и више), може доћи до лаганог али прогресивног слабења слуха, оштећења слуха, па и до потпуне глувоће. Такође, може доћи до смањења оштрине вида и способности распознавања боја, вртоглавице, главобоље, раздражљивости и замора.

Унутрашња бука возила је током година значајно смањена. На основу истраживања (датих табеларно и дијаграмски у овом раду), возило које емитује најмању буку у унутрашњости возила при раду мотора на празном ходу, не показује најбоље резултате током мерења буке возила при кретању карактеристичним брзинама. Поред тога, бука од шкрипе, звечања и подрхтавања које се јављају унутар кабине возила, обично потиче споља и ступа у интеракцију са структуром возила, чиме се емитује звук унутар кабине возила. Бука мотора зависи од броја обртаја мотора, а код неких типова мотора, може да зависи и од оптерећења. Бука усисавања и издувавања пре свега има нискофреквентне компоненте у спектру, при чему бука издувавања често има додатну високофреквентну компоненту од протока на већим бројевима обртаја и оптерећењима мотора. Бука усисног система се генерише када се улазни ваздух који се креће великом брзином нагло заустави затварањем усисних вентила. Бука у контакту пнеуматик-тло је, углавном, нискофреквентна. Састоји се од буке пренете кроз структуру возила, преко система еластичног ослањања и буке пренете директно кроз ваздух од пнеуматика до структуре возила, која се често погрешно интерпретира као бука ветра. Бука ветра, односно аеродинамичка бука, је значајан извор унутрашње буке код многих возила која се крећу великим брзинама. Извор буке кочница је трење између фрикционих површина облоге и диска (добоша) кочнице.

Смањење унутрашње буке возила је значајан задатак за инжењере из аутомобилске индустрије већ више од 40 година. У општем случају, контрола буке која се преноси кроз ваздух може се остварити на два различита начина: звучном изолацијом и апсорпцијом звука у кабини возила. Путем одговарајућег концепта изолације каросерије, могућа је добра изолација примарне буке пренете кроз ваздух. Смањење интензитета емитоване буке издувног система постиже се уградњом реактивних пригушивача буке у облику експанзионих судова на издувну цев возила и таква бука онда не ствара осећај нелагодности. За разлику од спољашње буке, возило на срећу, обезбеђује значајно смањење буке из различитих извора пре него што допре до унутрашњости возила. Постизање смањења механичке буке се постиже оптималним профилисањем одговарајућих делова, као и смањењем зазора између делова у релативном кретању. Код смањења буке система за пренос снаге мотора, последњих година се ради на томе да се побољша еластичност и профил зуба ради смањења буке.

Мерење унутрашње буке возила се може обавити у лабораторијским и полигонским условима. У специјалне просторе за мерење буке возила спадају анехоичне („глуве“) коморе, које су заправо затворене коморе, чије су све површине

прекривене изолационим материјалима од минералних или стаклених влакана. Ту су такође и полуанехоишне коморе које се потпуно разликују од анехоишних комора по томе што је њихов под - рефлектујућа површина. Постоје и реверберационе коморе, које су по циљу супротне анехоишним коморама – репродукују реверберационо и дифузно поље. И у аутомобилској индустрији, заједнички је стандард коришћење реверберационих комора, познатијих као алфа кабине.

Методe објективне оцeне унутрашње буке возила се уобичајено користе у процесу побољшања акустике возила. Хомологација возила је поступак оцењивања и потврђивања да ли возило у потпуности, или само неки његов део (опрема) одговара прописима Европске Уније односно UN ECE правилницима. Анализом прописа који се односе на електрични погон возила као и погон возила која користе водоник као гориво утврђено је да у већини случајева Директиве Европске Уније заостају за ECE правилницима. Тако, у случају електричних возила, не постоји пропис који обухвата електрична возила као целине, већ само електрични погон.

Обављање експерименталних истраживања мерења буке је неопходно уз одговарајућу мерну опрему. Та опрема обезбеђује поуздане и тачне податке неопходне за даљу анализу. Данас је у употреби широк дијапазон мерних инструмената намењених за мерење параметара буке у амплитудном, временском и фреквентном дometу. За инжењерска и научна мерења нивоа звука, обично је захтевана прецизност кондензаторских микрофона. То су калибрисани мерни микрофони дизајнирани за рад са системима који оцењују квалитет звука.

У овом мастер раду, у оквиру експерименталних испитивања обављених у Лабораторији за моторна возила Факултета инжењерских наука, обављено је мерење интензитета унутрашње буке возила Југо Флорида 1.3 EFI, у близини возачевог уха (изнад возачевог седишта), при стационарном тесту описаном у међународном стандарду ISO 5128:1980. На основу мерења, уочено је да резултати показују емитовање веома високих нивоа унутрашње буке приликом рада мотора на празном ходу, без оптерећења, као и високе нивое буке при потпуно отвореном лептиру. Разлог за то је што експериментално возило припада старијим моделима путничких возила, која су провела много година у експлоатацији.

Правци даљих истраживања у овој области могу да буду усмерени ка стварању повољнијих саобраћајних услова који би се позитивно одразили и на ниво унутрашње буке возила. Бука ће, вероватно, остати један од основних експлоатационих, планерских и пројектантских проблема у дизајну возила у будућности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Костић, С., et al: „Приручник за полагање возачког испита“, Заједница ауто-школа Србије/Привредна комора ауто-школа Србије, 2013.
- [2] Томанец Р.: „Заштита животне средине“, Скрипта, Рударско-геолошки факултет, Београд, 2008.
- [3] Пантелић Милинковић, З., Јовановић, С., Марјановић, З.: „Развој акустике возила“, XXII конференција са међународним учешћем „Бука и вибрације“, Ниш, 2010.
- [4] Вукашиновић, Р.: „Проблеми буке мотора и моторних возила“, *Зборник радова II*, pp. 139-150, ВТШСС Урошевац, 2013.
- [5] Auto Decibel Database – “Auto-decibel-dB, The Car Interior Noise Level Comparison site”, [приступљено: новембра, 2015], доступно на http://www.auto-decibel-db.com/index_kmh.html
- [6] Harrison, M.: “Vehicle Refinement – Controlling Noise and Vibration in Road Vehicles”, SAE International, 2004.
- [7] Pflüger, M., et al.: “Fahrzeugakustik”, Springer-Verlag, Wien, 2010.
- [8] Fahy, F., Walker, J. (eds.): “Advanced Applications in Acoustics, Noise and Vibration”, Taylor & Francis, 2004.
- [9] Genuit, K.: “Vehicle interior noise – combination of sound, vibration and interactivity”, *Sound and vibration*, 2009, pp. 8-12
- [10] Tuma, J.: “Vehicle gearbox noise and vibration”, John Wiley & Sons, Ltd, 2014.
- [11] Радосављевић, М., Демић, М.: „Прилог пројектовању каросерије путничког моторног возила побољшањем виброакустичких параметара“, „Истраживања и пројектовања за привреду“, 2004, Година II, бр. 6, pp. 25-34
- [12] Пантелић Милинковић, З., Јовановић, С., Марјановић, З.: „Развој акустике возила“, XXII конференција са међународним учешћем „Бука и вибрације“, Ниш, 2010.
- [13] Vige, D.: “Vehicle interior noise refinement – cabin soundpackage design and development - Vehicle noise and vibration refinement”, Woodhead Publishing Limited, 2010.
- [14] Lotus proactive: “Innovative Vehicle Testing”, “Lotus Engineering’s proActive Magazine”, Issue 46, 2012, доступно на: <https://lotusproactive.wordpress.com/2012/11/01/innovative-vehicle-testing/>
- [15] Autoneum: “The new Generation Alpha Cabin - Worldwide standard for absorption measurements”, 2015, расположиво на: <http://www.autoneum.com/products/measurement-systems/alpha-cabin/>

- [16] Doug, M.: “ISO Activity on Interior Noise - ISO 5128”, ISO WG42 Informal document, GRB-62-07, 2015.
- [17] ISO 5128:1980 - Acoustics – Measurements of sound pressure level emitted by stationary road vehicles, ISO, 1980.
- [18] Brule&Kjaer: “Basic Frequency Analysis of Sound”, 2007.
- [19] Ballou, G. ed.: “Electroacoustic Devices: Microphones and Loudspeakers”, Elsevier, 2009.
- [20] Rasmussen, P.: “Acoustic Measurement”, “The measurement, instrumentation and sensors handbook”, CRC Press LLC, 1999.
- [21] „Правилник о мерилима нивоа звука“, Службени гласни РС, бр. 39/2014, 2014.
- [22] Muller, G., Moser, M. eds.: “Handbook of Engineering Acoustics”, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013.