

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Аутомобилско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Аутомобилско инжењерство

Предмет: Одрживи развој МВ

Број индекса: 817/2013

Јована Б. Петровић

МОТОРНА ВОЗИЛА И БУКА

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Радивоје Пешић проф. – ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да

Опише и анализира:

- Моторно возило као извор буке у саобраћају,
- Извори емисије буке на возилу,
- Законска регулатива за буку возила,
- Могући начини смањења буке и закључна разматрања.

Препоручена литература:

- [1] Пешић Р., Петковић Д., С., Веиновић С.: Моторна возила и мотори – Опрема, Машински факултет у Бања Луци и Крагујевцу, 2008.
- [2] Gruden D.: Traffic and environment, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003.
- [3] Давинић А., Пешић Р.: Погонски системи у транспорту, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, 2018. Књига од 354 страна

Крагујевац, 13. 09. 2018. год.

Ментор:

Др Радивоје Пешић

РЕЗИМЕ:

У раду је анализирана утицај буке моторних возила на животну средину и учеснике у саобраћају. Анализирани су сви извори буке код моторних возила и анализирани услови настанка буке. Такође, дат је преглед законске регулативе из области заштите животне средине од буке, као и методе мерења буке. Изложене су познате методе и материјали за изолацију и редукцију буке код моторних возила, као и начини апсорпције буке поред саобраћајница и у урбаним срединама. На крају рада дата су закључна разматрања из области буке моторних возила.

Кључне речи: Бука; Моторна возила; Екологија

ABSTRACT:

The paper analyzes the influence of noise on motor vehicles on the environment and traffic participants. All sources of noise in motor vehicles and analyzed noise conditions were analyzed. Also, a review of the legal regulations in the field of protection of the environment from noise, as well as the methods of noise measurement is given. Famous methods and materials for insulation and noise reduction in motor vehicles, as well as methods of noise absorption near roads and in urban areas are exposed. At the end of the work, concluding observations in the field of noise of motor vehicles were given.

Keywords: Noise; Motor vehicle; Ecology

Садржај:

1. Увод.....	2
2. Уводна разматрања о буци у животној средини.....	3
2.1. Бука – основни појмови.....	3
2.2. Саобраћајна бука.....	8
3. Моторна возила као извор буке.....	12
3.1. Извори буке код моторних возила	13
3.1. Мотори са унутрашњим сагоревањем као извори буке код моторних возила	17
4. Законска регулатива и бука возила	21
4.1. Законска регулатива Републике Србије која се односи на буку возила.....	21
4.2. Правилник о методама мерења буке	24
4.3. Законска регулатива Европске Уније	27
4.4. Директиве Европске Уније	27
4.5. Контрола и испитивање буке моторних возила	29
5. Мере за смањење буке код моторних возила	33
5.1. Методе пасивне редукције буке код моторних возила	35
5.2. Методе активне редукције буке.....	35
5.3. Примена интелигентних материјала и тихих подлога путева	38
5.4. Примена звучне баријере	39
6. Закључак	42
Литература:.....	43

1. Увод

Бука је негативан извор звука из окружења који има негативан утицај на човека и тако утиче негативно на његово здравље, као и на радну способност. Ако посматрамо возило као радно окружење, унутрашњост возила са аспекта буке утиче на здравље возача и путника у возилу. Односно, возило као извор буке утиче на возача и путнике у самом возилу у току вожње, а такође, оно је и извор буке у саобраћају која утиче на остале учеснике (пешаке, бициклисте и др.) и окружење.

Бука у саобраћају настаје применом превозних и транспортних средстава, попут моторних возила у друмском саобраћају. Овај вид буке често је изнад дозвољених граница које је прописала „Светска здравствена организација“ како би се смањио негативан утицај буке на људско здравље. На основу међународних и националних прописа развијају се мере за снижење буке возила, али се, такође, врши и контрола буке коју производе возила која учествују у саобраћају, како би се на њу адекватно утицало. Редукција буке је веома значајна, јер се са једне стране делује на побољшање акустичке удобности у унутрашњости возила - кабини, док са друге стране снижава бука коју возило емитује у животну средину. Решавање проблема насталих услед емитовања буке моторних возила и њеног утицаја на учеснике у саобраћају се не може посматрати једнострано, већ је проблем сложен и захтева истовремено деловање у пољу акустичке, осцилаторне и термичке удобности возила.

Поред еколошке важности и од економске важности је да бука која настаје у саобраћају буде смањена, а саобраћај организован на начин да извори буке буду изоловани, како би се задовоље потребе свих учесника. Сама редукција буке мора бити решена на тај начин да мање утиче на здравствено стање људи, учесника у саобраћају (активних и пасивних). Такође, мора се смањити и негативан утицај на животну средину (флору и фауну) и здравље људи изазване емисијом издувних гасова, буком као и одлагањем отпада возила по истеку њиховог радног века [1].

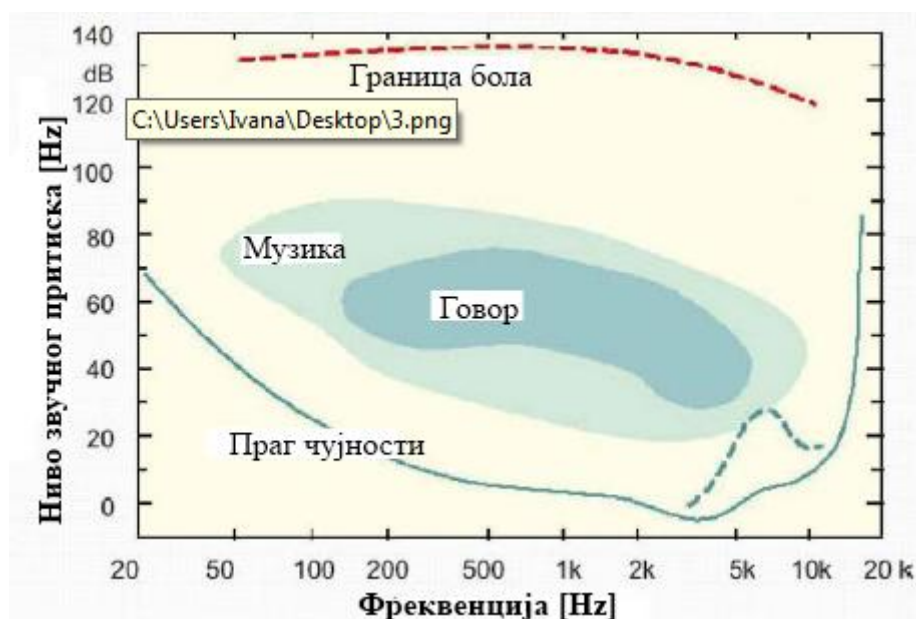
Неминовно је да стање данашњег саобраћаја и еколошких услова уопште у градовима, нарочито у деловима где пролазе прометне саобраћајнице, се непрекидно погоршава. Изградња саобраћајница не прати сразмерно пораст броја возила, нарочито у друмском саобраћају, што за последицу има загушења у саобраћају и емитовање константно високог интензитета буке. Ипак, трендови развоја у свету, када је су у питању саобраћај, прате идеју тзв. „одрживог развоја“, која подразумева рационално коришћење свих природних ресурса на дужи временски рок, као и бригу за екологију и здравље људи. По питању буке коју емитују моторна возила, предузимају се различите мере активне и пасивне редукције буке, апсорпције буке применом зеленог појаса и друге мере. Употребом већег броја електричних возила у путничком саобраћају, што се и предвиђа у наредном периоду, довео би до значајног смањења извора буке код моторних возила, а самим би укупан ниво буке настао из саобраћаја био мањи.

2. Уводна разматрања о буци у животној средини

Бука је негативан извор звука која у саобраћају настаје применом транспортних средстава и има негативан утицај на учеснике у саобраћају. Бука која настаје као последица индустријских процеса је физички феномен који настаје као резултат ударних осцилаторних процеса у машинским елементима и уређајима. Буку могу изазивати чврста тела, течни или гасовити флуиди.

2.1. Бука – основни појмови

Човек субјективно региструје звук 20 до 20000 Hz, слика 2.1. Звук јачине испод 20 Hz назива се инфразвук, док изнад 20000 Hz ултразвук. Интензитет звука на неким учестаностима мора бити доста већи да би га човеково уво регистровало, такође, ако интензитет прелази неку границу тада се звук не чује, али ствара болни осећај. Према томе, на свакој учестаности постоји праг чујности од 800 до 6000 Hz (слика 2.1) у том интервалу праг чујности је 10^{-12} W/m^2 , а граница бола 1 W/m^2 [1].



Слика 2.1. Чујно подручје по фреквенцији и нивоу звука [1]

Осећај звука у човековом уху назива се гласност и зависи од интензитета звука, али не пропорционално, јер способност ува да разликује гласност звука слаби са повећањем интензитета. Гласност звука оцењује се величином L , па промена гласности dL може бити директно пропорционална промени интензитета звука dI само у случају ако осетљивост ува према интензитету звука остане непромењена. Према томе како осетљивост звука слаби са порастом интензитета звука I може се узети да је промена осећаја гласности dL пропорционална односу dI/I (k – коефицијент пропорционалности):

$$dL = k \cdot \frac{dI}{I} \quad (2.1)$$

Интегралењем у границама од најмање вредности интензитета I_0 на прагу чујности до текуће вредности интензитета I добијамо:

$$L = k \cdot \ln \cdot \frac{dl}{I} \quad (2.2)$$

Тако је субјективни осећај гласности звука пропорционалан логаритму односа одговарајућих интензитета на прагу чујности. Па је уведена објективна оцена гласности звука након мерења његовог интензитета I :

$$L = \log \cdot \frac{l}{l_0} \cdot B \text{ (Bel)}, \quad L = 10 \log \cdot \frac{l}{l_0}, \text{ dB(decibel)} \quad (2.3)$$

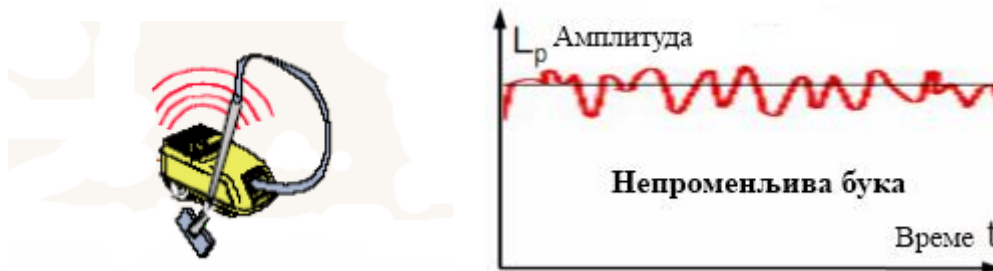
За све интензитета звука усвојен је интензитет на прагу чујности (при 1000 Hz) $l_0 = 2 \cdot 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Величина L се обично назива „ниво интензитета звука“ (ниво звучне снаге обично у dB). Уколико се уместо интензитета звука I мери ефективни звучни притисак тада је:

$$L = \frac{\Delta p_{ef}^2}{\rho V}, \quad \Delta p_{ef} = \frac{\Delta p}{\sqrt{2}}, \quad L = 20 \cdot \log \frac{\Delta p_{ef}}{\Delta p_0} \quad (2.4)$$

где је: $\Delta p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ – ефективни звучни притисак на прагу чујности при 1000 Hz.

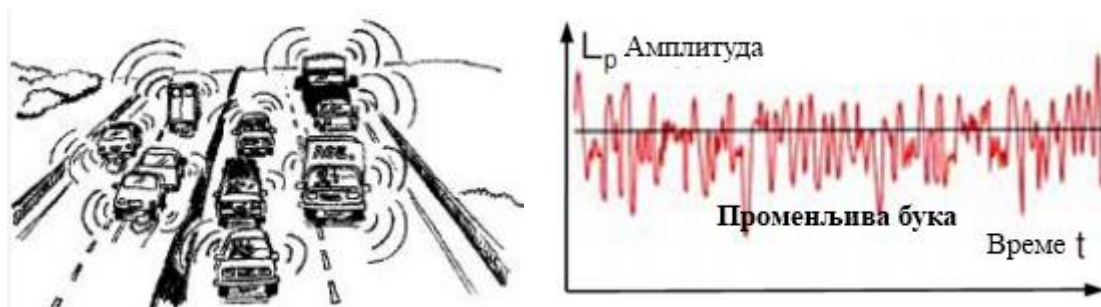
Ако анализирамо буку у временском домену можемо је поделити на:

1. **Непроменљива уједначена бука** (слика 2.2). Овај тип буке је константан и непроменљив, односно њена амплитуда је једнака у различитом временском домену.



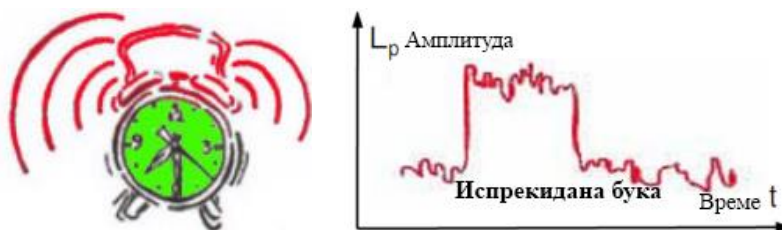
Слика 2.2. Непроменљива уједначена бука [2, 3]

2. **Променљива неуједначена бука** (слика 2.3). Овај тип буке је променљив, односно њена амплитуда се мења у различитом временском домену. Карактеристична је за саобраћај, где се променом броја возила на путевима и саобраћајница се и она мења.



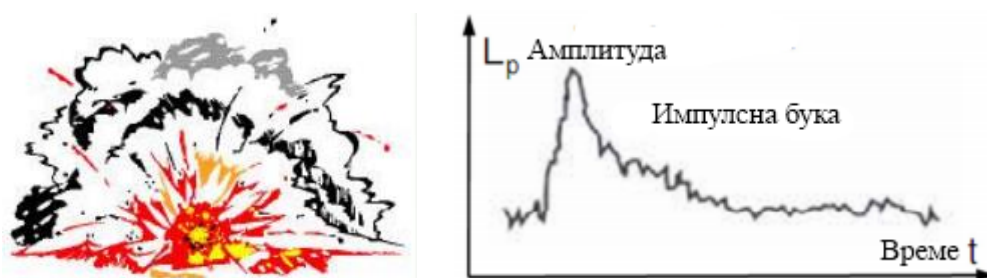
Слика 2.3. Променљива уједначена бука [3]

3. **Испрекидана бука** (слика 2.4). Овај тип буке мења своју амплитуду у временском интервалу, односно креће се од нуле до неке максималне вредности уз одређе прекиде у временском интервалу.

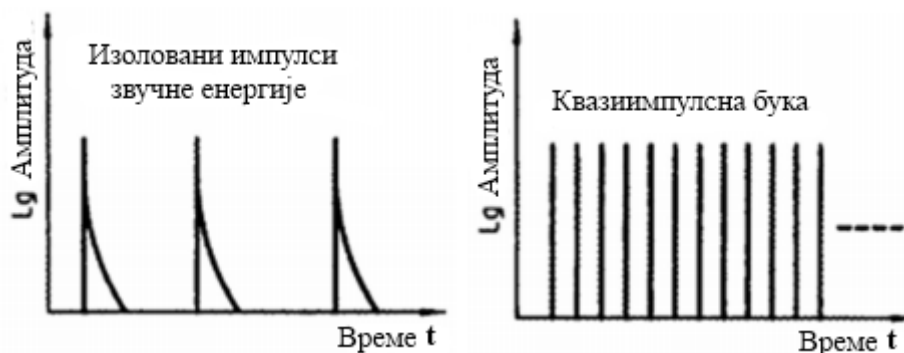


Слика 2.4. Испрекидана бука [3]

4. **Импулсна бука** (слика 2.5). Карактеристична је за експлозије, где се јавља јак, оштар и изненадан ново буке, који може негативно утицати на човека и животну околину. Након појаве овог типа буке, она брзо нестаје, али може оставити велике штетне последице. Имплусна бука се може поделити на: изоловани импулс звучне енергије и квазиимпулсну буку (слика 2.6).



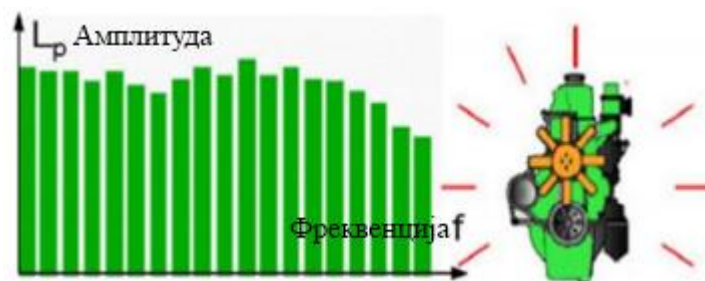
Слика 2.5. Импулсна бука [3]



Слика 2.6. Импулсна бука: изоловани импулси звучне енергије и квазиимпулсна бука [3]

Типови буке у фреквенцијском домену су:

1. **Широкопојасна бука** (слика 2.7). Карактеристична је по широком фреквенцијском домену и може се одразити на ширу околину, емитују је нпр. мотори са унутрашњим сагоревањем.



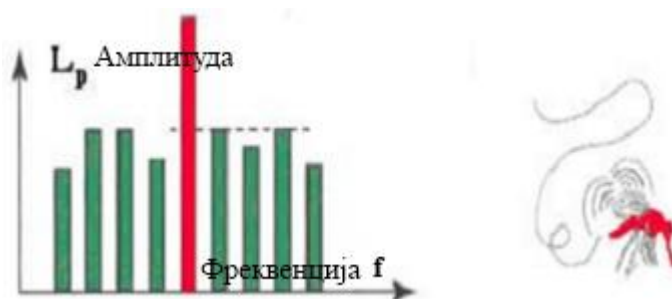
Слика 2.7. Широкопојасна бука [3]

2. **Ускопојасна бука** (слика 2.8). Карактеристична је по уском фреквенцијском домену и може се одразити само на непосредну околину, емитују је нпр. локомотиве – возови покретане електромотором.



Слика 2.8. Ускопојасна бука [3]

3. **Тонална бука** (слика 2.9). Ово је тип буке која садржи већи део звучне енергије. Корекција за тоналну буку је фиксна и износи 5 dB, а бука се оцењује као тонална ако је задовољен неки од критеријума за разлику нивоа звучног притиска у суседним терцним опсезима.



Слика 2.9. Тонална бука [5]

Меродавни ниво буке може се написати изразом:

$$L_R = L_{eq} + K \quad (2.5)$$

односно: $K = \max(K_I, K_T, K_S) + K_t + K_R$,

где је:

K_I – корекција за импулсни карактер буке,

K_T – корекција за тонални карактер буке,

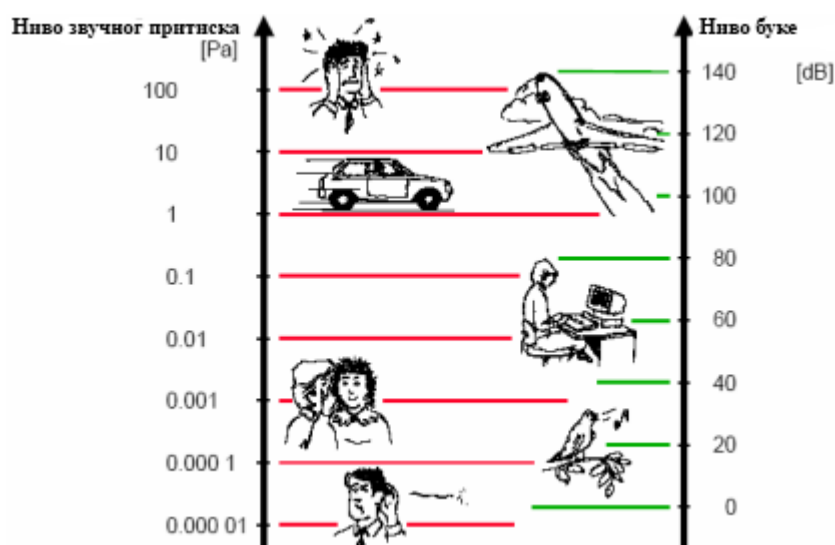
K_S – корекција за одређене изворе,

K_t – корекција за трајање буке у оквиру референтног временског интервала,

K_R – корекција за период дана [3].

У табели 2.1, дате су вредности корекције за одређивање меродавног нивоа буке. На слици 2.10, приказан илустративни дијаграм који приказује ниво буке коју емитују одређени извори.

Табела 2.1. Вредности корекције за одређивање меродавног нивоа буке [3]		
Тип корекције	Спецификација	Корекција (dB)
Извор звука K_S	Друмски саобраћај	0
	Авионски саобраћај	3 ÷ 6
	Железнички саобраћај	- 3 ÷ - 6
	Индустрија	0
Карактер извора K_I и K_T	Уобичајено импулсна бука	5
	Високоимпулсна бука	12
	Високоенергетска импулсна бука	-
	Тонална бука	3 ÷ 6
Временски период K_R	Вече	5
	Ноћ	10
	Дан током викенда	5



Слика 2.10. Ниво буке коју емитују одређени извори [2]

Према статистици на основу испитивања, буку чини преко 80% укупне буке. За буку је карактеристично да постоји неуједначеност, посебно ноћу, што је нарочито штетно због изненађујућег ефекта.

Разликују се четири утицаја буке на организам:

1. (40÷60 dB) – психичке реакције,
2. (60÷80 dB) – растројство вегетативног нервног система,
3. (90÷110 dB) – снижење слуха
4. (преко 120 dB) – карактеристично оштећење слуха [2].

2.2. Саобраћајна бука

Од свих емитера буке у друмском саобраћају највећи удео имају моторна возила. Односно њихов удео у саобраћајној буци износи 84%. Два најзначајнија извора буке код моторних возила су мотори са унутрашњим сагоревањем и точкови (пнеуматици) који током вожње од контакта додирне површине гуме са површином коловоза емитују висок ниво буке. У условима градске вожње, где је број заустављања и покретања возила највећи, буку највише производи погонски агрегат возила (мотор СУС). Док током вожње по ауто-путевима где се брже вози, па додир гуме и пута при великим брзинама производи висок ниво буке. При пуном оптерећењу возила највише буке изазива издувни систем. Како би се смањила бука друмског саобраћаја постављају се разне врсте баријера, док се на самим возилима усавршавају мотори, пнеуматици, издувни системи, уисни системи. У урбаним срединама бука која настаје за време вожње моторног возила, обзиром на основни извор, може се поделити у три групе:

1. бука која настаје пролазом возила кроз ваздух,
2. бука која настаје услед рада возила,
3. бука која настаје интеракцијом пнеуматика и возне површине [3].

Саобраћајна бука се карактерише нивоом од 40÷100 dB, што значи да се могу наћи сви знаци штетног дејства буке. На интензитет саобраћајне буке, осим брзине, броја и врсте возила, употреба звучних сигнала утичу: конструкција, техничко стање и ширина улица, распрострањеност зеленила у насељу, доба дана – ноћи, метеоролошки услови и др. Заступљености извора буке у животној средини у процентима је следећа [2]:

- Саобраћајна (градска) бука 84%;
- Индустријка бука 7%;
- Бука железничког саобраћаја 4%;
- Остало 5%.

Извори буке друмског саобраћаја [4]:

- аутомобили,
- аутобуси,
- тролејбуси,
- мотоцикли,

- камиони,
- механизација која се самостално креће друмом.

Извори буке код друмских возила [4]:

- бука точак-асфалт (код путничких возила, мотоцикала теретних возила),
- издувни систем (значајан извор код теретних моторних возила, као ниско-фреквентни звук „румбле”),
- погонска јединица – мотор.

Индекс саобраћајне буке користи се при израчунавању променљивости саобраћајне буке. Овај индекс се израчунава на основу еквивалентног нивоа буке мереног током 24 часа. Статистичком обрадом се одређује ниво буке који се прелазе током 10% времена и 90% времена:

$$TNI = 4 \cdot (L_{10} - L_{90}) - 30 \quad (2.2)$$

Емитована бука зависи од садржаја саобраћаја. Нпр. један камион који се креће брзином од 90 km/h емитује буку коју у просеку производи 28 путничких возила која се крећу истом брзином (слика 3.6).



Слика 3.6. Бука теретних моторних возила (1 камион = 28 путничких аутомобила) [4]

Већа возила као што су тешки камиони и аутобуси са дизел мотором проузрокују буку у распону до око 90 dB(A). Табела 3.1 даје вредности буке у децибелима коју проузрокују различите врсте возила. Мерења буке је изведено са возилима у градским условима која су се кретала брзином од 45 до 60 km/h.

Табела 2.2. Бука коју емитују поједини типови возила [4]	
Тип возила	dB(A)
Путнички аутомобил	62÷76
Електрични тројлебус	60÷70
Лакши возови	72÷75
Средњи камион	73÷78
Градски аутобус са дизел мотором	80÷85
Тешки камион	80÷85

Саобраћај је доминантни извор буке у комуналној средини, укључујући све облике саобраћаја. Опште правило које углавном важи за све облике саобраћаја: већа и тежа возила су бучнија од мањих и лакших. Бука друмског саобраћаја је најраспрострањени извор буке у свим земљама и примарни је узрок који изазива ометање људских активности. Бука коју производи друмски саобраћај при кретању константном брзином зависи од:

- брзине возила,
- структуре саобраћајног тока,
- природе површине [5].

Бука је променљива у областима где кретање саобраћаја укључује промене брзине и снаге, нпр. у зони семафора, раскрсница, успона или низбрдица. Бука зависи од топографије терена, метеоролошких услова и позадинске буке.

Бука железничког саобраћаја зависи од:

- брзине воза,
- типа локомотиве, вагона и шина,
- основе на којој су шине постављене [5].

Мали пречник кривине пруге, карактеристичан за градске средине, може довести до стварања великих нивоа буке на високим фреквенцијама (шкрипа точкова). Крутости точкова и шина Додатна бука се генерише на железничким станицама – стартовање локомотиве, пиштаљка шефа станице, разгласни систем и на ранжирним станицама – маневрисање локомотива.

Савремени брзи возови доводе до новог проблема, а то је нагло повећања буке при поласку воза. Ипак, та бука није импулсног карактера па се њен негативни утисак умањује. Нпр. при брзинама већим од 250 km/h, део звучне енергије на вишим фреквенцијама се повећава, тако да се та бука чује слично, као и бука прелета авиона. Како се тежи што већем броју железничких пруга са брзим возовима очекивања су да ће то довести до додатног повећања нивоа буке у животној околини. Разлог томе је што се бука брзих возова простире на великим растојањима. Додатно повећање буке може настати у областима близу тунела, у долинама или у областима са карактеристикама терена које помажу акумулацији вибрација.

Код ваздушног саобраћаја операције слетања и узлетања авиона генеришу значајан ниво буке у близини комерцијалних и војних аеродрома. Тако при узлетању авиона генерише се интензивна бука уз значајно акумулирање вибрација. Такође, слетање авиона доводи до акумулирање значајног нивоа буке при лету на мањим надморским висинама у широком окружењу, тако да тежи авиони генеришу већу буку од лакших авиона. Највећи извор буке код ранијих турбомлазних авиона је турбуленција коју стварају млазни издувни гасови из мотора са околним ваздухом. Док код савремених авиона овај део је редукован коришћењем вентилаторских млазних мотора.

Бука која настаје услед операција слетања и узлетања авиона зависи од:

- броја авиона,
- коридора слетања и узлетања,
- односа узлетања и слетања,
- атмосферских услова [5].

Саобраћајна бука одражава се на когнитивне способности човека. Међутим ефекат буке зависи и од тежине и сложености задатка. У истраживањима је уочено да су већи ефекти буке на децу, што се одражава на пажњу у школи, концентрацију, могућности памћења. Деловање буке код деце негативно утиче на процес учења и дугорочног памћења. Дејства вибрација возила на возача се огледају у ометању аутоматизације покрета, отежаном осматрању, замарању вратне мускулатуре, раздражљивости вестибуларног апарата, која се може десетоструко увећати и сл. Најтежи облик је вибрациона болест која има три стадијума развоја од којих су једино прва два излечива [1].

3. Моторна возила као извор буке

Бука и вибрација коју емитују моторна возила на возача утичу тако што ометају аутоматизацију покрета, отежавају осматрање, замарају вратну мускулатуру, изазивају раздражљивости вестибуларног апарата и друге нус појаве. Најтежи облик обољења која могу проузроковати моторна возила је вибрациона болест [1].

Ниска фреквенције вибрација које настају код моторних возила ($< 4 \text{ Hz}$) изазивају општу нелагодност са симптомима морске болести, знојењем, бледилом, поремећајем у дисању и повраћањем. Вибрације учестаности $4\div 10 \text{ Hz}$ изазивају болове у грудима и трбуху (резонантна учестаност органа), промене у покретима дисања и мишићне контракције, главобољу и страх. Изнад 10 Hz јављају се бројне сметње у психичкој сфери праћене даљим појачањем главобоље, сметњама у говору и повећањем мишићног тонуса и друге последице [1].

Изражање буци изазива лучење хормона стреса (кортизола, норадреналина и адреналина). Повећан ниво хормона стреса утиче на већ постојеће биолошке факторе као што су хипертензија, повишен ниво шећера у крви и др. Ипак, изражање буци саобраћаја не утиче исто на све људе. посебно су осетљива деца, старији и болесни. На слици 3.1. шематски су приказани основни узроци појава вибрација и буке.



Слика 3.1. Основни узроци појава вибрација и буке [1]

3.1. Извори буке код моторних возила

Извор буке возила може бити вишеструки: погонски агрегат, пнеуматици у контакту са подлогом, бука опструјавања, бука прострујавања и др. Истраживања и развој удобности возила одвија се кроз област акустике мотора, акустике каросерије и акустике погонског система. Проблеми акустичке удобности не могу се одвојено посматрати од проблема осцилаторне удобности, јер истовремено треба решити оба у суштини супротна проблема. Решавање проблема акустичке удобности унутрашњости возила обухвата детектовање извора буке, начин преношења и деловања на возача и путнике. На слици 3.2 приказани су извори буке код моторног возила.



Слика 3.2. Извори буке и вибрација код путничког моторног возила [1]

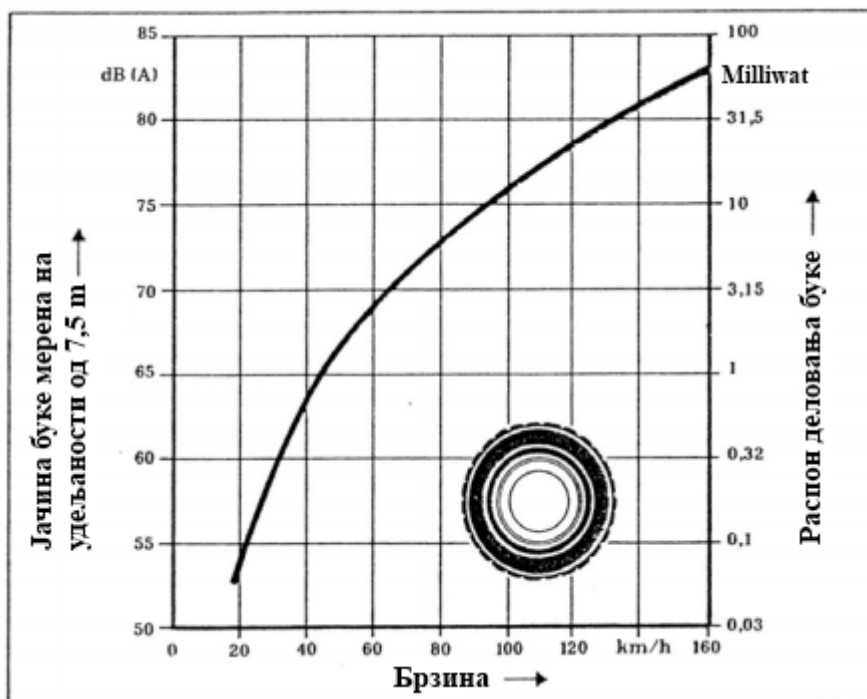
Опажање и истраживања су показала да на ниво буке утиче:

- Храпавост, настаје кад је већа храпавост подлоге, већи је ниво буке која отприлике линеарно расте са повећањем храпавости подлоге.
- Брзина кретања возила настаје порастом брзине вожње, повећава се бука услед котрљања точкова по путу.
- Стање површине пута, тако нпр. путеви који су у мокром стању бучнији су од сувих путева, а разлика у нивоу буке је нарочито изражена код мањих брзина.
- Врста пнеуматика и његово оптерећења, јер пнеуматици који су јаче оптерећени производе већу буку која се повећава са трошењем нагазне површине гума услед које долази до повећавања вибрација.
- Врста подлоге пута, нпр. бетонски путеви производе нешто већу буку од асфалтних путева сличне подлоге при малим брзинама возила, сама конструкција возила има значајнији утицај на ниво буке од интеракције возила и возне површине [1].

Котрљање пнеуматика по путној површини постаје значајан када је у питању узроковање буке возила. Тај утицај долази до изражаја при брзинама већим од 30 km/h код путничких возила и 40 km/h код теретних возила, док је он доминантан при брзинама већим од 50 km/h. Према резултатима истраживања ниво буке коју произведе

рад мотора при брзинама 30÷40 km/h има значајну улогу у градским срединама, док се на аутопуту тај извор буке се може занемарити.

Бука пнеуматика се производи додиром пнеуматика и пута, а зависи од врсте подлоге пута, конструкције пнеуматика и брзине кретање возила (слика 3.3). Повећање брзине кретања возила за једну 1/4 удвостручује буку пнеуматика.



Слика 3.3. Јачина и распон буке у зависности од брзине возила [6]

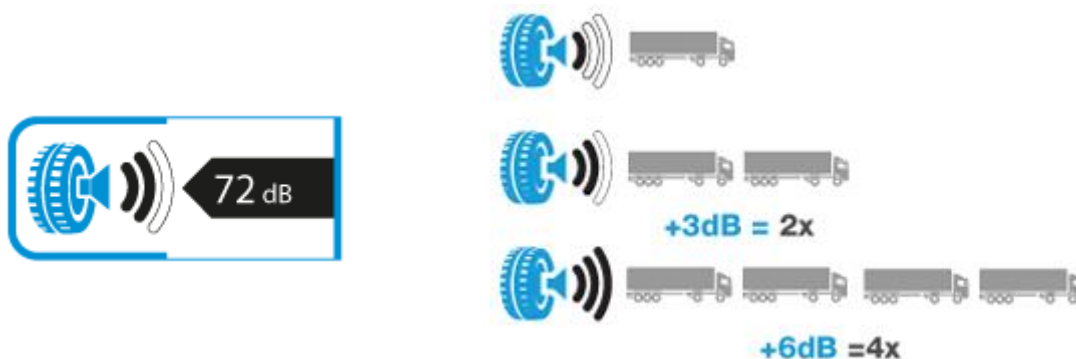
Нивои у децибелима мере се на логаритамској скали. То значи да повећање од само неколико децибела представља велику разлику у нивоу буке. Пнеуматик чија је класа буке означена са три црна таласа може да буде до четири пута бучнији од пнеуматика са једним црним таласом (слика 3.4). Овим се бука смешта у категорије према европским ограничењима за буку пнеуматика:

- 1 црни талас: 3 dB или више испод европске граничне вредности,
- 2 црна таласа: између европске граничне вредности и 3 dB ниже,
- 3 црна таласа: изнад европске граничне вредности [7].



Слика 3.4. Спољашња бука пнеуматика у dB [7]

Један аутобус са дизел мотором или теретно моторно возило производи еквивалент буке коју произведе близу 30 аутомобила. Генерисани нивои буке од стране возила може бити далеко већи од 90 dB(A), чак и да доведу до губитака слуха. Бука из тешких теретних возила је неких 300 пута веће него амбијентална бука улица или бука коју производе електричне тролејбуси. Што се тиче буке која настаје приликом интеракције пнеуматика и пута код теретних моторних возила она се мери према европским граничним вредностима, слика 3.5.



Слика 3.5. Спољашња бука пнеуматика теретних моторних возила у dB [7]

Испитивање буке показују да су нивои буке из аутобуса са дизел мотором и тешких камиона су забрињавајући када је у питању здравље становника у градским срединама. У извесној мери, проблем буке код тешких камиона је решен уградњом тзв. апсорбера буке и заштитних зидова дуж аутопутева и саобраћајних коридора.

У укупном нивоу буке погонског агрегата код путничких возила највећи удео има бука мотора (око 40 %), што је приказано на слици 3.6, на којој су приказани удели појединих извора буке погонског агрегата у тест методи ISO R 362 [1].

Општи нивои буке на брзопроменљивим режимима рада мотора:

$$V_d = V^s + V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 \quad [7] \quad (3.1)$$

где је:

V_d – ниво буке мотора у брзопроменљивим режимима рада,

V^s – ниво буке на почетном, устаљеном режиму,

V_1 – промена нивоа буке изазвана променом броја обртаја мотора,

V_2 – промена нивоа буке због промене режима оптерећења,

V_3 – промена нивоа буке услед нестационарних струјних процеса (усисавање и издувавање),

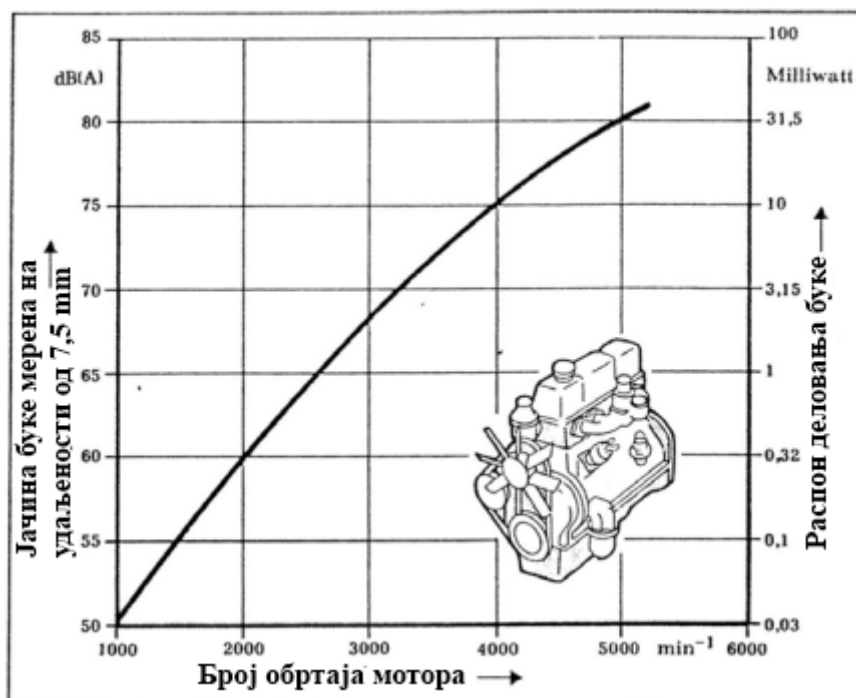
V_4 – промена нивоа буке услед нестационарних осцилаторних процеса,

V_5 – промена нивоа буке услед измењених режима рада помоћних уређаја.



Слика 3.6. Удео појединих извора буке у укупном нивоу према ISO R 362 [1]

Бука погонског агрегата (мотора сус) настаје услед деловања притиска насталог у току процеса сагоревања, односно експанзије у цилиндру. Овај процес производи вибрације у блоку које се простиру изван зидова блока и емитирају буку. Бука мотора зависи од радне запремине мотора, оптерећења и броја обртаја мотора (слика 3.7).



Слика 3.7. Јачина и распон буке у зависности од броја обртаја мотора [6]

Бука усисног система настаје при отварању и затварању усисних вентила, а интензитет ове буке зависи од режима рада мотора, оптерећења мотора и броју обртаја мотора, врсти ваздушног филтера и пригушивача.

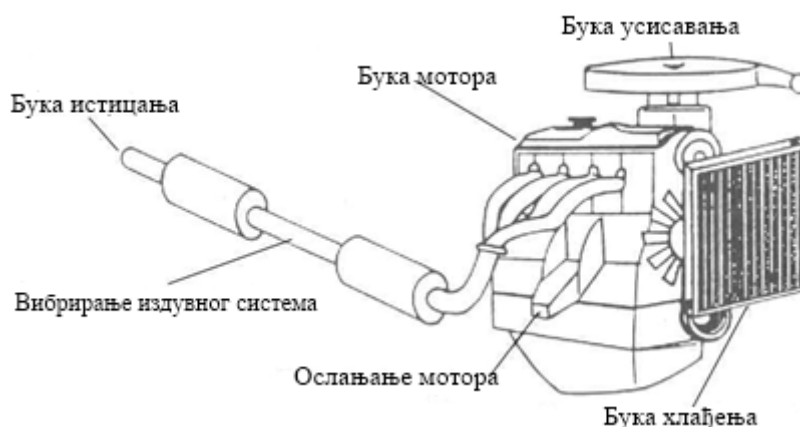
Бука система издувавања настаје отварањем издувних вентила и наглим испуштањем продуката сагоревања из система, Ниво буке издувног система зависи од притиска у цилиндру мотора, брзини подизања вентила, пречника издува вентила и других фактора.

Још један од значајних извора буке код возила са мотором сус је бука вентилатора. Овај тип буке настаје радом вентилатора који при укључивања ствара широкопојасну буку. Укључивање вентилатора дешава се углавном када мотор достигне одређену радну температуру. Појава буке у кабини возила може бити узрокована приликом рада вентилационог система.

3.1. Мотори са унутрашњим сагоревањем као извори буке код возила

Мотор са унутрашњим сагоревањем је главни извор вибрација једног моторног возила. Мотори сус својим неуравнотеженим силама инерције, неравномерним обртним моментом и неуједначеношћу радног процеса проузрокују одређени ниво буке, доминантан код моторних возила. Како у једном тако и међуцилиндрима, уздужним вибрацијама (клаћењем око тежишта), вибрирањем система и уређаја на мотору и оних заједничких са возилом [1].

Пошто мотор своје вибрације преноси на возило, а оно обрнуто, своје на мотор то је систем мотор-возило врло сложен па је питање везивање мотора са возилом стално актуелно. Ослонци не смеју преносити поигравање мотора на велике површине као што су поклопци, кров, облоге каросерије јер су они врло моћни извори секундарних вибрација и буке. На слици 3.8, шематски је приказан мотор СУС на коме су означени извори буке.



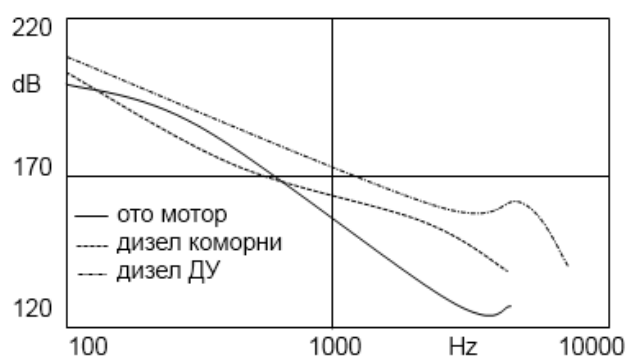
Слика 3.8. Извори буке на мотору СУС [1]

Извори буке на погонском агрегату могу се сврстати:

1. бука струјања (директна или аеродинамичка бука): бука издувавања, бука усисавања и систем хлађења.
2. бука створена вибрирањем делова мотора (индиректна бука); вибрирање блока, главе, картера и сл.

3. вибрације издувног система; бука створена вибрирањем делова каросерије услед поремећаја од мотора, пренетих преко места за ослањање мотора у возилу [1].

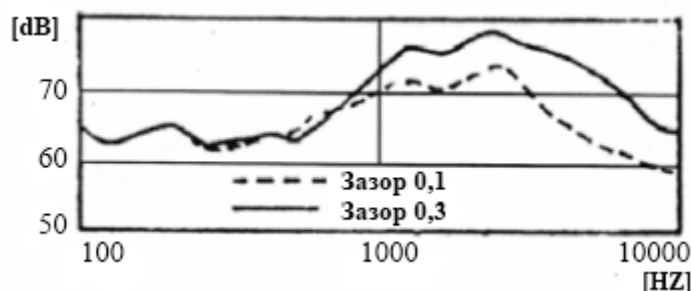
Бука сагоревања настаје током стварања притиска у цилиндру мотора и битно утиче на буку коју ствара мотор. Проучавајући утицај тока притиска на спектар притисака, а самим тим и на буку мотора, може се запазити да је максимална вредност притиска одлучујућа за ниске учестаности, пораст притиска за средњи опсег учестаности, док други извод притиска по углу и евентуална детонација опредељују ток спектра на високим учестаностима (изнад 4 kHz). На слици 3.9, прикрана су три спектра притиска за три различита мотора: ото мотор, коморни дизел мотор и дизел мотор са директним убризгавањем [1].



Слика 3.9. Спектар притиска за: ото мотор, коморни дизел мотор и дизел мотор са директним убризгавањем [1]

Механичка бука мотора представља последицу импулса удара делова који се релативно крећу. Механичка бука се може смањити оптималним профилисањем одговарајућих делова, као и смањењем зазора између делова у релативном кретању. Тако се контролишу секундарна кретања делова и смањују вредности импулса удара. Бука клипа као последица удара клипа о зид цилиндра је посебно изражена код не загрејаних мотора. Њен ниво опада са загревањем мотора и смањењем зазора клип – цилиндар, а карактеристична учестаност је $1.4 \div 1.7$ kHz [1].

Коленасто вратило у највећем делу радног процеса плива на филму уља. Међутим максимална сила притиска гасова доводи до удара рукавца о филм уља и наглог смањења његове дебљине, па чак и до кидања. Ти удари побуђују блок мотора и генеришу буку. Стварање буке посебно стимулишу и торзионе осцилације коленастог вратила. Пригушивачи торзионих осцилација смањују структурну буку блока мотора, али могу да генеришу нову буку. Учестаност осцилација спољних површина блока и цилиндарске главе мотора је око 1.5 kHz [1]. На слици 3.9, приказан је дијаграм утицаја зазора клипа у цилиндру на ниво буке.

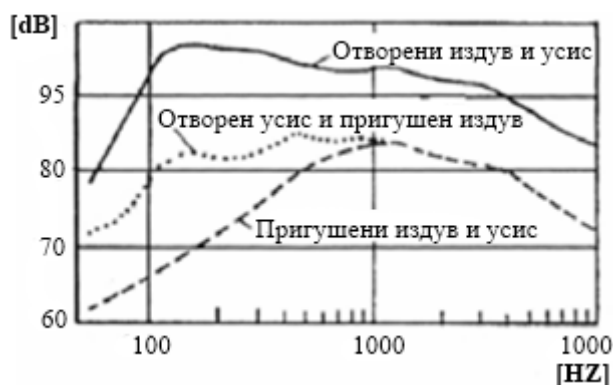


Слика 3.9. Утицај зазора клипа у цилиндру на буку мотора [8]

Бука система за хлађење настаје радом вентилатора система за хлађење је велики извор буке широког спектра. Бука система за хлађење значајно зависи од конструкције, односно облика саћа код хладњака, облика лопатица, растојања лопатица, растојања између хладњака и вентилатора (због појаве турбуленције), итд. Бука коју генерише вентилатор је таквог фреквентног садржаја који је близак резонантним учестаностима путничког простора, што може бити извор додатних проблема [1].

Систем за измену радне материја, емитује буку посебно код брзоходних мотора, представља генератор највећег дела механичке буке мотора. Удари брега, при отварању вентила и при седању вентила на седиште стварају побуде које генеришу буку. Оптималним профилисањем наилазне и силазне рампе брега та се бука може смањити. Увођењем хидрауличких подизача вентила и минимизирањем зазора, такође се може утицати на смањење буке. Како вентили својом масом утичу на вредност импулса удара при отварању и затварању, треба пројектовати вентил са мањом масом. Ударно дејство вентила по седиштима производи вибрације $10 \div 15$ kHz. Док зупчасти погон ствара вибрације у опсегу учестаности $0.3 \div 5$ kHz [1].

Бука усисавања је аеродинамичког порекла. Настаје због осциловања притиска у усисном систему, стварања вртлога, стварању вртлога при оптицању преко препрека на које ваздух наилази при кретању кроз систем (вентил, седиште, и др.) и турбуленције ваздуха у граничним слојевима. Значајно зависи од режима рада мотора, односно броја обртаја мотора, акустичких карактеристика усисног тракта, врсте и карактеристике филтера за ваздух, његове запремине итд [1]. На слици 3.10, приказан је дијаграм нивоа буке из усисног и издувног система.



Слика 3.10. Ниво буке усисног и издувног система [8]

Бука издувавања је последица турбулентног струјања гаса у издувном систему и истицања у околину. Пошто се околина понаша као еластична средина, формирају се звучни таласи. Таласи се распростиру специфично са карактеристичном кривом у поларним координатама и максималном енергијом у правцу углова од 25° и 45° у односу на осу цеви. Ова бука се снижава одговарајућим пригушивачима и правилним избором његовог положаја у издувном систему. Пригушивачи који се уграђују у издувне системе раде на принципима апсорпције и рефлексије. Први трансформишу енергију звука у топлоту, а други врше интерференцију звучних таласа. Смањење нивоа буке је сразмерно запремини пригушивача. Уградбене димензије диктирају вишеструке пригушиваче. Такви системи се састоје од: конвенционалних пригушивача, резонатора (постављају се испред конвенционалних), еластичних делова у систему (спречавање преношења вибрација мотора на издувни систем и обрнуто) и завршних цеви [1].

Операциона бука усисавања и издувавања може бити класификована на следећи начин:

- Примарни извори буке су нестационарни, масени проток кроз вентиле који изазива флактуације притиска у главном воду и преноси се до усисног отвора или отвора издувне цеви и преноси буку зрачењем.
- Секундарни извори буке настају кретањем ваздуха кроз усисни и издувни систем. Ова самоиндукована бука назива се бука протицања. Тзв. љуска буке, структурна радијациона и бука из издувних или усисних цеви називају се примарним или секундарним извором буке (слика 3.11).



Слика 3.11. Примарни и секундарни извори буке усисавања и издишавања мотор сус

4. Законска регулатива и бука возила

Законска регулатива која се односи на смањење нивоа буке у саобраћају коју емитују моторна возила разликују се у свакој земљи појединачно, али и постоје обавезујући међународни прописи. Обавезе које прописује законска регулатива нису идентичне у свим државама света, као уосталом и уређење државе и заједнице. Од решености да се уведу мере за смањење прекомерне буке разликују се примењене технике и методе.

4.1. Законска регулатива Републике Србије која се односи на буку возила

У наставку рада биће наведени поједини чланови Закона о заштити од буке у животној средини. Закон је објављен у „Службеном гласнику РС“, бр. 36/2009 и 88/2010.

I. ОСНОВНЕ ОДРЕДБЕ

Предмет закона:

Члан 1.

Овим законом уређују се: субјекти заштите животне средине од буке; мере и услови заштите од буке у животној средини; мерење буке у животној средини; приступ информацијама о буци; надзор и друга питања од значаја за заштиту животне средине и здравље људи. Одредбе овог закона не односе се на буку која настаје на радном месту и у радној околини, буку која настаје у превозном средству, буку која потиче од војних активности на армијским полигонима и активности на заштити од елементарних непогода, природних и других удеса, буку од активности у домаћинству или буку из суседног домаћинства, као и на буку којој су изложени они који је стварају [9].

Чланом 1. описује се улога законске регулативе и дефинисање мера у услова заштите од буке. Закон о заштити од буке у животној средини односи се на све изворе буке који се могу наћи у индустријским постројењима, саобраћају, домаћинствима и услед других активности.

Заштита животне средине од буке:

Члан 2.

Заштита животне средине од буке обезбеђује се утврђивањем услова и предузимањем мера заштите које су део интегралног система заштите животне средине и односе се на:

1. просторно, урбанистичко и акустичко планирање,
2. звучну заштиту,
3. стратешку процену утицаја планова и програма, односно процену утицаја пројеката на животну средину, као и на издавање дозволе за изградњу и рад постројења, односно обављање активности,

4. прописивање граничних вредности буке у животној средини,
5. производњу, промет и употребу извора буке,
6. акустичко зонирање,
7. израду стратешких карата буке,
8. израду акционих планова заштите од буке у животној средини,
9. мерење и оцену буке у животној средини,
10. процену штетних ефеката буке на здравље људи и животну средину,
11. информисање јавности о буци и њеним штетним ефектима у животној средини [9].

Чланом 2 овог закона дефинишу се мере које треба предузети у циљу смањења буке у животној средини, дефинисању граничних вредности буке за одређена подручја и изворе буке. Такође, овим чланом предвиђа се контрола мерење буке код производа и уређаја који производе буку, као и израду акционих планова за заштиту од буке.

II. СУБЈЕКТИ ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ ОД БУКЕ

Обавезе субјеката заштите:

Члан 9.

Субјекти заштите животне средине од буке одговорни су за сваку активност или непредузимање мера којима се проузрокује изложеност буци изнад граничних вредности. Правна и физичка лица која обављањем својих делатности утичу или могу утицати на изложеност буци дужна су да обезбеде: учешће у трошковима заштите од буке у животној средини у оквиру инвестиционих, текућих и производних трошкова; праћење утицаја своје делатности на буку; спровођење одговарајућих мера заштите од буке, у складу са овим законом и законом којим се уређује заштита животне средине [9].

У конкретном случају произвођачи аутомобила су обавезни да на новопроизведеним возилима буку коју емитује возило сведу на законом прописане границе. Субјекти који производе буку или производе који емитују буку сnose трошкове њене редукције.

III. МЕРЕ И УСЛОВИ ЗАШТИТЕ ОД БУКЕ У ЖИВОТНОЈ СРЕДИНИ

1. Превентивне мере

Члан 12.

Просторно и урбанистичко планирање и реализација пројеката из члана 11. став 2. овог закона обухватају и мере звучне заштите које се обезбеђују кроз планирање наменске употребе простора, планирање саобраћаја, смањење буке мерама звучне изолације и контролу извора буке. При пројектовању, грађењу и реконструкцији објеката

саобраћајне инфраструктуре, индустријских објеката, стамбених, стамбено-пословних и пословних објеката носилац пројекта дужан је да спроведе мере звучне заштите у складу са овим законом и другим прописима [9].

Такође, надлежни органи су дужни да спроведу мере заштите кроз наменско планирање употребе простора, планирање саобраћаја, смањење буке мерама звучне изолације и контролу извора буке.

2. Индикатори буке и граничне вредности

3. Појединачни извори буке

Члан 16.

Машине, превозна средства, уређаји и опрема који се производе у Републици Србији или се увозе на територију Републике Србије морају, ради стављања у промет, односно употребу, бити усклађени са техничким прописима који се односе на гранични ниво буке под одређеним условима употребе, а подаци о буци у условима употребе морају бити означени на производу у складу са посебним прописима. Мере заштите од буке везане за избор и употребу машина, уређаја, средстава за рад и превозна средства спровode се применом најбољих доступних техника које су технички и економски исплативе, у складу са законом. Извори буке који се користе за обављање делатности, а који се привремено користе или се трајно постављају у отвореном простору на нивоу тла, непокретне и покретне објекте или се користе на води или у ваздуху морају имати податке о нивоу звучне снаге коју емитују при прописаним условима коришћења и одржавања [9].

Надлежни органи су дужни да врше контролу производа који емитују буку, а који се производе или увозе у Р. Србију да ли су у складу са техничким прописима који се односе на гранични ниво буке под одређеним условима употребе. Подаци о буци коју емитује производ (нпр. возило) требају бити означени на производу. Испитивање производа врше техничке лабораторије које су овлашћене за то.

IV. НАДЗОР

Права и дужности инспектора:

Члан 31.

У вршењу инспекцијског надзора републички инспектор за заштиту животне средине, инспектор за заштиту животне средине и инспектор за заштиту животне средине јединице локалне самоуправе:

1. да ли се спречавање, смањивање и отклањање штетних ефеката буке врши у складу са решењем надлежног органа којим су утврђене мере заштите од буке,
2. да ли се мерење буке обавља у складу са одредбама овог закона и прописа донетих на основу овог закона,
3. да ли су нивои буке у акустичко зони изнад прописане граничне вредности,
4. да ли се израђују стратешке карте буке,

5. да ли се доносе и спроводе акциони планови заштите од буке у животној средини, односно локални акциони планови,
6. да ли се спроводе посебне мере заштите од буке у животној средини, односно друге прописане мере, у складу са овим законом [9].

Овлашћена лица (инспектори) врше контролу објеката и/или производа који емитују буку да ли је она у границама дозвољеног. Односно да ли се спроводе одређене мере отклањања штетних ефеката буке.

4.2. Правилник о методама мерења буке

У Р. Србији Правилником су прописане методе мерења буке, пуно име овог Правилника је „Правилник о методама мерења буке, садржине и обиму извештаја о мерењу буке“ Сл. Гласник РС бр. 72/2010. У наставку рада биће дати поједини чланови овог правилника.

Члан 1.

Овим правилником ближе се прописују методе мерења буке, садржина и обим извештаја о мерењу буке [10].

Члан 2.

Мерење буке у животној средини се врши према стандардима SRPS ISO 1996-1 и SRPS ISO 1996-2 [10].

Методе мерења буке усклађене су са прописима Европске Уније и ISO стандардима из ове области. Правилником се прописују методе мерења буке и садржина и обим извештаја о резултатима мерења буке.

Члан 3.

Извештај о мерењу буке садржи:

1. општи део,
2. задатак мерења,
3. услове и резултате мерења,
4. закључак,
5. прилоге [10].

Члан 4.

Општи део садржи:

1. податке о овлашћеној организацији, заводни број извештаја у деловодној књизи стручне организације, као и име лица одговорног за потписивање извештаја о

мерењу буке,

2. копију решења о овлашћивању за мерење буке у животној средини које је издало министарство надлежно за послове заштите животне средине,
3. копију уверења о исправности мерила,
4. податке о наручиоцу мерења, назив и адреса као и број захтева или уговора на основу којег се врши мерење нивоа буке у животној средини,
5. списак опреме (мерни ланац) и податке о калибрацији [10].

Извештај о мерењу буке као званични документ мора да садржи одређене податке прописане овим правилником. Као и податке о овлашћеној организацији и име одговорног лица. Такође, извештај о мерењу прати и решење о овлашћивању за мерење буке, као и уверење о исправности мерила којима се мерење врши. Извештај о мерењу мора да садржи и податке о наручиоцу мерења, списак опреме којом се врши мерење и податке о калибрацији мерила.

Члан 5.

(1) Задатак мерења садржи:

1. захтев наручиоца формулисан у складу са решењем инспектора, са позивом на број решења, уколико привредни субјект врши мерење по налогу инспектора,
2. захтеве и услове мерења самоиницијативног наручиоца мерења.

(2) Референтно место за мерење буке јесте простор који је најизложенији буци [10].

Свако мерење буке мора бити одређено задатком мерења формулисан у складу са решењем о мерењу буке. Задатак мерења одређен је захтевним и условима мерења.

Члан 6.

Услови и резултати мерења садрже:

1. опис локације објекта у коме се налази извор буке и простор који је потенцијално угрожен буком,
2. евиденцију извора буке, сваки извор буке појединачно наведен, расположиви подаци о изворима буке (Назив извора буке, година производње, серијски број, фабрички број, податак о нивоу буке коју производи),
3. датум и час мерења (од-до),
4. режим рада и положај извора буке,
5. опис мерног места, податак о зони и метеоролошке услове,
6. ознаку мерне тачке, коју дефинише овлашћена организација на основу задатка мерења,
7. временски интервал мерења и референтно време,

8. опис буке према временском току, одређивање да ли је бука променљива или непроменљива, испрекидана, импулсна,
9. опис буке према фреквентном садржају (броадбанд, ускопојасна или бука у којој се јављају појединачни тонови),
10. одабрану динамичку карактеристику инструмента за мерење (SLOW – FAST),
11. измерени еквивалентни ниво буке, са приложеном терцном односно октавно анализом (табела односно дијаграм), корекције измереног нивоа (уколико постоје),
12. меродавни ниво буке,
13. лица која су присуствовала мерењу [10].

Услови и резултати мерења садржани су чланом 6. овог правилника. Извештај о мерењу буке мора садржати детаље о локацији мерења, датуму и времену мерења, подацима о инструментима за мерење, меродавни ниво буке и измерени ниво буке и остале детаље прописане овим чланом.

Члан 7.

(1) Закључак садржи:

1. оцену буке према прописаним критеријумима; за сваку мерну тачку доноси се оцена: ниво буке ПРЕЛАЗИ или НЕ ПРЕЛАЗИ граничну вредност буке у животној средини,
2. потпис овлашћених лица која су вршила мерење, потпис лица одговорног за потписивање извештаја и печат овлашћене организације [10].

(2) Закључак, потписи и печат овлашћене организације налазе се на последњој страни извештаја [10].

Још један важан део извештаја о мерењу буке јесте закључак. Закључак треба да садржи оцену буке према прописаним критеријумима, односно оцену да ли прелази или да не прелази прописани ниво за одређени објект или извор буке. Такође, мерење мора бити потврђено потписом и печатом овлашћеног лица.

Члан 8.

Прилози садрже:

1. решење надлежног органа којим се налаже мерење, уколико је то основ за мерење буке,
2. графички прилози, односно фотодокументација [10].

4.3. Законска регулатива Европске Уније

Циљ законске регулативе Европске комисије је да нико од становништва не сме бити изложен јачином буке која угрожавају здравље или квалитет живота. Током ноћи људи не би смели бити изложени еквивалентној јачини звука већој од 65 dB(A), док граница јачине звука од 85 dB(A) не би се никад смела премашити. Начин смањења нивоа буке у великој мери зависи од културе, економије, политике. За сада не постоји процена, на светском нивоу, о утицају буке на животну средину као ни о цени тог утицаја.

Више од 20% становника Европске Уније изложено је високим вредностима буке која доводи до поремећаја сна и низ других негативних утицаја на здравље. Негативни утицаји буке могу изазвати висок крвни притисак, ментални стрес, срчани удар или општећења слуха. Нпр. бука може имати негативан утицај на учење. Процењује се да још 170 милиона људи живи у тзв. “сивим подручјима” (55÷65 dB) у којима бука узрокује озбиљне сметње. Економски трошак због буке процењује се на 0,2÷2 % бруто домаћег производа.

4.4. Директиве Европске Уније

Према Директиви 70/157/ЕЕС, дефинише се метода испитивања нивоа буке моторних возила и пнеуматика и дефинишу границе емитовање буке. Последња измена представља Директива 2007/34/ЕС, издата 6. јула 2008. године. Метода испитивања захтева мерење нивоа буке када се возило креће малом брзином и под максималним обртним моментом [11]. У табели 4.1, дат је градација нивоа буке у зависности од типа возила и погонског агрегата према директиви Директива 2007/34/ЕЕС.

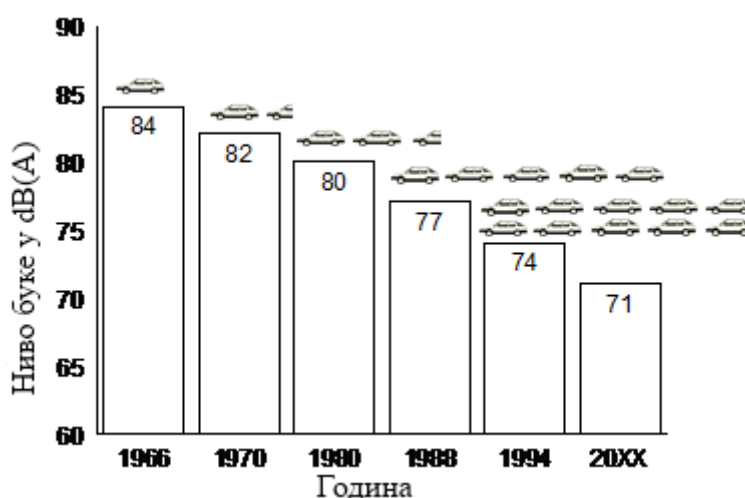
Разлог за овакве услове испитивања је тај што ако возило задовољи екстремне услове теста биће тихо и у нормалним условима експлоатације. Међутим метода испитивања мењана је неколико пута и промене су се односиле на степен преноса и број обртаја коленастог вратила мотора, што су и најважније одреднице емисије погонског агрегата.

Табела 4.1. Директива 2007/34/ЕЕС [11]

Категорије возила	Величине изражене у dB(A)
Возила намењена за превоз путника, која имају не више од 9 седишта укључујући и седиште возача	74
Возила намењена за превоз путника и опремљена са не више од 9 седишта, укључујући и седиште возача; и имају максималну дозвољену масу већу од 3,5 t	
Са снагом мотора мањом од 150 kW	78
Са снагом мотора већом од 150 kW	80
Возила намењена за превоз путника и опремљена са не више од 9 седишта, укључујући и седиште возача; возила намењена за превоз добара	

Са малсималном дозвољеном масом која не прелази 2 t	76
Са малсималном дозвољеном масом која прелази 2 тоне, али не прелази 3,5 t	77
Возила намењена за превоз добара и имају максималну дозвољену масу преко 3,5 t	
Са снагом мотора мањом од 75 kW	77
Са снагом мотора већом од 75 kW, али мањом од 150 kW	78
Са снагом мотора не мањом од 150 kW	80

Према Директиви 2007/34/ЕЕС дозвољена бука креће се од 74 dB до 80 dB, у зависности од масе возила и снаге мотора. Према слици 4.1, може се одредити приближан податак о десет савремених возила, када истовремено раде, колики ниво буке дају, када је дозвољени ниво буке је 84 dB(A). Испитивање је рађено 1996 године, захтевани ниво буке је би требао бити снижен на 71 dB(A) [12].



Слика 4.1. Еволуција прописа за буку према ЕСЕ правилнику 51 [1]

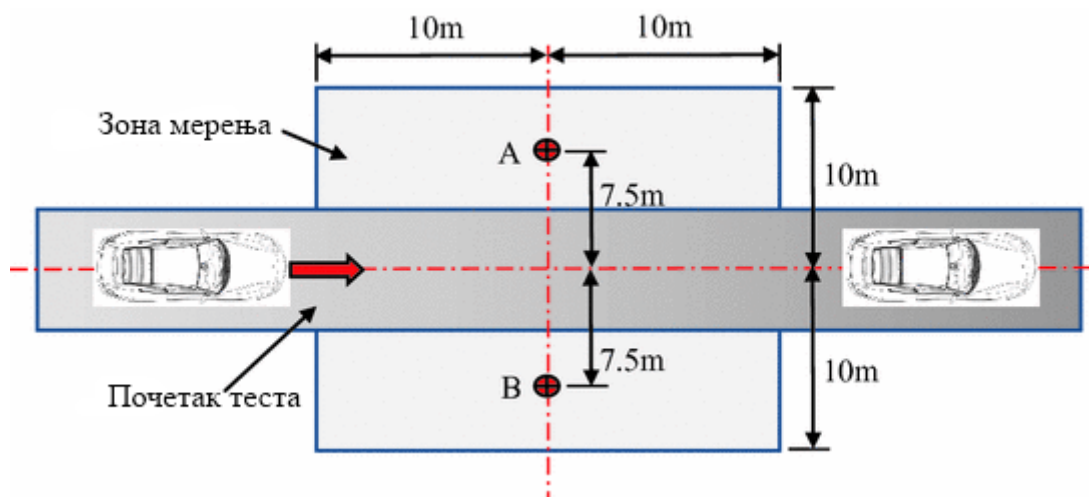
Европска комисија је дала предлог да се у наредном периоду од 10 година границе за тешка теретна возила сниже за 3÷5 dB(A) у две етапе. За путничка и лака доставна возила предлаже се снижавање за 3÷6 dB(A) у две етапе за исти временски период. Међутим постоје и следећи прилози:

- Снизити ниво емитоване буке возила са постојећих 74 на 71 dB(A) (нека од возила на тржишту већ задовољавају ове услове и имају 67 dB(A)).
- Уклонити допунски услов од +1 dB(A) за дизел моторе се директним убризгавањем. Савремена технологија производње дизел мотора је условила да дизел мотори данас нису бучнији од бензинских мотора.
- Уклонити допунски услов од +2 dB(A) за ванове, јер су они углавном изведени из путничких возила [12].

4.5. Контрола и испитивање буке моторних возила

Бука возила нормирана је у складу са Правилником R ECE 51 rev.02. који је уведен октобра 1996. године и директивом EU 70/157/ECE са изменама од 05.07.2007. Правилник ECE 51.02 не односи се на возила која се већ налазе у експлоатацији. Увођењем ревизије 02, еквивалентни ниво буке аутомобилског саобраћаја у коме учествује 10÷30% теретних возила, смањено се за 2÷3.5 dB (A).

Мерење буке возила у покрету према ISO 362 Директива 81/83/ЕЕС. Стандардно мерење емисије буке возила одвија се према ЕЕС директиви 81/83/ЕЕС, заснованој на стандарду ISO 362 (мерење буке коју емитују друмска возила при залету – инжењерска метода). Тест се изводи на равној површини и није дозвољено постојање објеката од којих се одбија звук на удаљености од 50 m у пречнику. Микрофон се налази на 7.5 m удаљен бочно од средине коловозне траке на висини од 1.2 m изнад равни тла (слика 4.2). Возило се приближава константном брзином у датом степену преноса. Када растојање између возила и центра круга, тачке А, буде 10 m, даје се „пун гас“ (лептир потпуно отворен). Мери се вршна вредност у dB. Врши се најмање по два мерења са сваке стране коловозне траке, а као крајња узима се највећа измерена вредност [14].



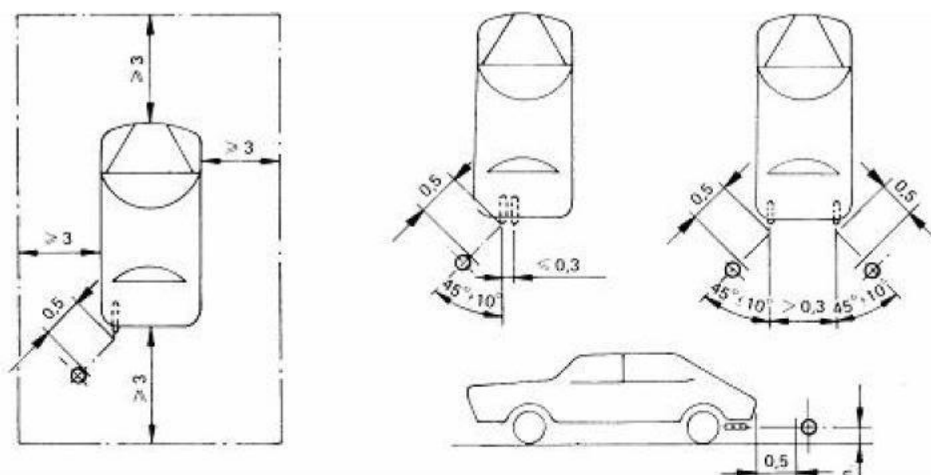
Слика 4.2. Шема мерења буке возила према ISO 362 Директива 81/83/ЕЕС [13]

Мерење буке у унутрашњости возила према ISO 5120 – 1989 (Е). Услови извођења теста су следећи:

- удаљеност од великих објеката 20 m,
- брзина ветра мања од 5 ms^{-1} на висини од 1.2 m изнад површине тла,
- мењач у неутралном положају,
- мотор ради на празном ходу,
- лептир потпуно отворен, што је могуће брже и држати га отвореним најмање 5s,
- извршити најмање три мерења и наћи аритметичку средњу вредност [14].

Мерење буке издувног система према ISO 5130 – 1982 (E). Услови извођења теста су следећи:

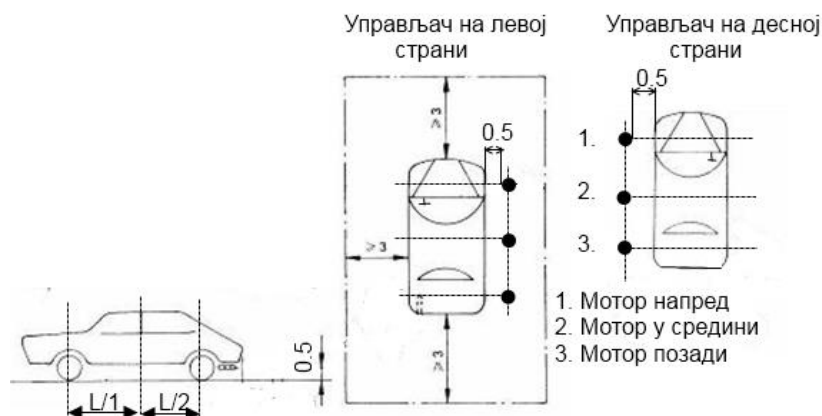
- отворен простор,
- ивице мерне локације удаљене најмање 3 m од истурених делова возила,
- не сме бити никаквих објеката у близини,
- возило удаљено најмање 1 m од тротоара,
- дозвољено присуство само возача и посматрача на мерној локацији,
- обавити најмање три мерења и користити аритметичку средњу вредност као коначни резултат,
- возило у центру мерне области,
- мењач у неутралном положају,
- укључена спојница,
- мотор стабилизovati на $\frac{3}{4}$ обртаја при максималној снази, па затим нагло затворити лептир,
- записати само највећи ниво звучног притиска [14].



Слика 4.3. Шема мерења буке према ISO 5130 – 1982 (E) [14]

Мерење буке поред (погонског агрегата) мотора према Анексу ISO 5130 – 1982 (E). Услови извршења теста су следећи:

- мерење се обавља само на страни супротној од возача,
- број обртаја мотора једнак је $\frac{1}{2}$ броја обртаја при максималној снази мотора,
- записује се само највиши ниво,
- извршити три мерења и наћи аритметичку средњу вредност [14].



Слика 4.4. Шема мерења буке у близини мотора према Анексу ISO 5130 – 1982 (E) [14]

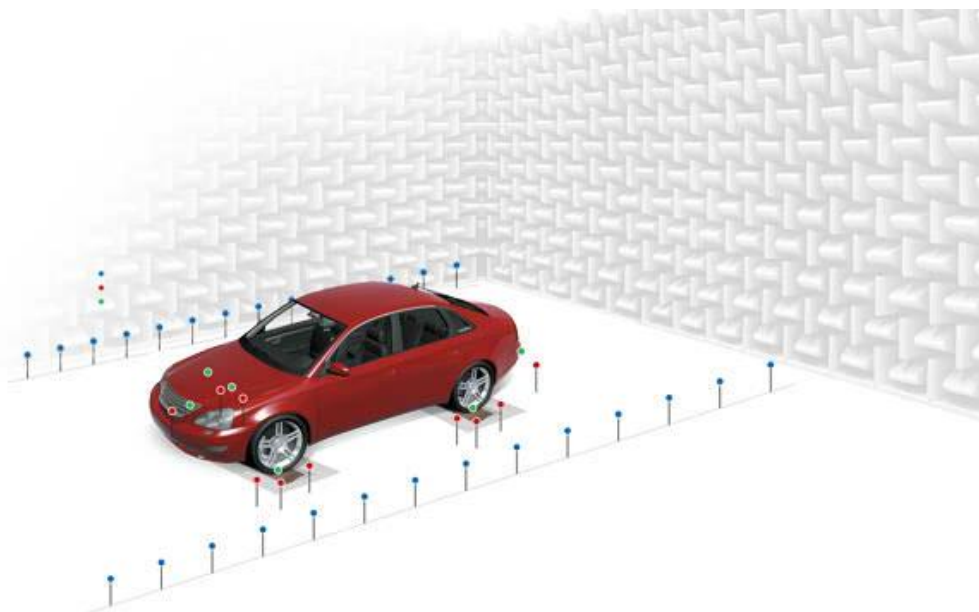
Поред класичних метода, користе се још и методе које се заснивају на интерференцији звучних таласа (активно смањење буке). Показано је да променом притиска у окружењу извори буке могу да се компензују променама притиска другог звучног извора који тако ствара антизвук и чини први извор нечујним. При томе звучни таласи оба извора морају имати амплитуде истог интензитета, исте учестаности, али супротног знака. За један звучни уређај можемо рећи да је акустично ефикасан само ако може да произведе антизвук жељених карактеристика.

Испитивањем је показано да ефикасност антизвука почиње при:

- амплитудној разлици антизвука у односу на звук, од 50% и
- међусобном фазном померању мањем од $1/6$ таласне дужине [1].

Произвођачи моторних возила почињу да користе испитивање буке возила у великим коморама са динамометарском шасијом. Принцип мерења је следећи:

- Поставља се возило на шасији, а затим се мери спољашња и унутрашња бука коју оно ствара. Предност је смањен утицаја околине, па мерења буке су тачнија, а пошто се возило налази у стању мировања могућа је примена већег броја инструмената за мерење. Такође, могуће је у коморама вршити и симулацију проласка возила поред микрофона у циљу мерења буке (Pass-by Noise Test), коришћењем посебног софтвера (PULSE Indoor Pass-by Noise Test software). Уместо проласка тест возила поред микрофона, као у стандардној процедури мерења буке, у овом мерењу се постављају редови микрофона дуж возила. Возило се креће и убрзава на динамометарској шасији као и у Pass-by методи мерења. Врши се снимање спољашње буке возила на свим микрофонима, као и сигнали и остали битни параметри са динамометра (слика 4.5) [15].



Слика 4.5. Мерење буке возила у великим коморама [15]

Екстрактовањем одговарајућих временских интервала сигнала и спајајући их у један, могуће је репродуковати сигнал еквивалентан сигналу симулације проласка возила поред микрофона (Pass-by методи). Овај сигнал комбинован са профилем брзине добијеним на динамометру представљају, у ствари, податке који репрезентују величину буке емитовану као и при Pass-by методи [15].

Карактеристике Pass-by методе:

- Мерење у ограниченим просторима где се не може извести у *Pass-by* тест због растојања микрофона и осталих параметара. Амплитуде сигнала на микрофонима су преправљене под претпоставком да се бука ствара са по једне тачке на обе стране возила (леви и десни акустички центар) независно од фреквенције.
- Могућност нових прорачуна при промени позиције акустичких центара.
- Измерени сигнали са свих микрофона се могу одвојено чувати, и могу се на много начина обрадити зависно од прорачунских подешавања.
- Управљање процесом при задавању ограничења.
- Одређивање буке пнеуматика у потпуности [15].

5. Мере за смањење буке код моторних возила

Код савременог возила је неопходно обезбедити да има одговарајући акустички комфор али и квалитетан апсорбер звука (слика 5.1). Тако да мере којима се делује на буку возила нису једноставне и не односе се само на снижење буке већ и на формирање квалитетног звука. Тако да акустички комфор није мера престижа него је потреба. Квалитет звука са често дефинише као укупан степен задовољења индивидуалних очекивања од аудиторног догађаја [12].

Повећани захтеви потрошача у области акустике возила				
+				
Захтеви које поставља марка возила				
=				
Повећан обим истраживања и развоја у области акустике возила				Марка звука
				Квалитет звука
		Бука затварања врата	Бука затварања врата	Бука затварања врата
		Бука мењача	Бука мењача	Бука мењача
		Бука вентилатора и	Бука вентилатора и	Бука вентилатора и
		Бука на празном ходу	Бука на празном ходу	Бука на празном ходу
		Бука ротације	Бука ротације	Бука ротације
		Подрхтавање возила	Подрхтавање возила	Подрхтавање возила
		Тутњање	Тутњање	Тутњање
		Бука ветра	Бука ветра	Бука ветра
Спољашња бука	Спољашња бука	Спољашња бука	Спољашња бука	
Залетање пог. агрега.	Залетање пог. агрега.	Залетање пог. агрега.	Залетање пог. агрега.	
Вибрације пог. агрег.	Вибрације пог. агрег.	Вибрације пог. агрег.	Вибрације пог. агрег.	
Унутрашње брујање	Унутрашње брујање	Унутрашње брујање	Унутрашње брујање	
70-те	80-те	90-те	>2000-та	

Слика 5.1. Преглед захтева купаца у погледу акустичке удобности возила [12]

Постојећи и будући захтеви које треба да задовољи звук возила треба да дају позитивну слику о возилу. Звук возила су пре свега даје:

- информацију о квалитету, функционалности, опасности по околину;
- слику о возилу, да ли је спортски, луксузан или јефтин.
- идентификацију слично визуелном утиску [12].

Стручњаци се слажу да испрекидана и импулсивна бука далеко више узнемирава од континуиране буке. Аутобуси са дизел мотором и камиони који кроз градску сретну пролазе у одређеним интервалима не могу вршити већи утицај на просечни нивоа буке, али током временског периода ефекти на здравље људи су значајни.

Мере за смањење буке спроводе се на:

- 1) извору буке
- 2) на преносу буке (пригушним алуминијским поклопцем)
- 3) на пријемнику буке (употребом панелних плоча)

Код мотора се на извор буке може утицати:

- управљањем процесом изгарања,
- смањењем буке конструкцијом мотора,
- смањењем буке оклопа око мотора.

Могућност смањења буке од интеракције пнеуматике и возне површине може се остварити:

- смањењем брзине возила,
- одабиром одређеног типа возне површине,
- одржавањем путева и возила,
- управљање саобраћајем (саобраћајно оптерећење и преусмеравање саобраћаја),
- понашањем возача и увођењем забране и др.

У табели 5.1, приказано је смањење буке у dB у зависности од мере заштите.

Табела 5.1. Смањење буке у зависности од мере заштите [6]	
Мера заштите од буке	Ефекат мере (dB)
<i>Смањење буке на извору</i>	
Рад мотора	3÷5
Смањење брзине	2÷8
Возна површина	2÷5
Управљање прометом саобраћаја	2÷4
Преусмеравање саобраћаја	5÷10
Понашање возача	0÷5
<i>Смањење распрострања буке</i>	
Довољна удаљеност од саобраћајница	3÷5
Примена баријера	0÷15
Пролазак саобраћајнице у усеке	0÷5
Пролазак саобраћајнице кроз тунеле	0÷30

Имајући у виду изнете буке, могу се навести мере за смањење општег нивоа буке моторног возила мерене по тест методи ISO R 362:

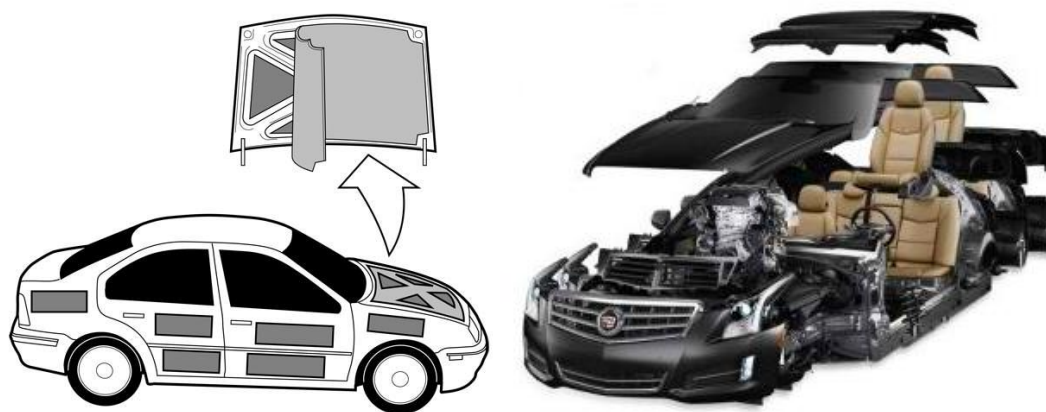
- усавршавањем – реконструкцијом мотора и његових система могуће смањење нивоа буке је 3÷5 dB (A),
- делимичним облагањем мотора звучно изолационим материјалима могуће је остварити смањење до 3 dB (A),
- смањењем броја обртаја мотора могуће смањење нивоа буке износи до 4 dB (A);
- потпуним облагањем мотора и његових система могуће је остварити смањење нивоа буке за 6÷9 dB (A) [1].

5.1. Методе пасивне редукције буке код моторних возила

Пасивна метода редукције буке представља најефикаснију методу апсорпције буке код моторних возила, нарочито путничких. Углавном се користи код апсорпције у нискофреквентној области емитовања буке код моторних возила. Пасивна изолација буке возила обухвата две методе: изоловање извора буке и пригушивање буке. На пример капсулирање погонског агрегата и постављање апсорпционих материјала. Међутим примена оваквих метода има ефекта у високо фреквентној области и утиче на повећање масе возила и самим тим на перформансе и потрошњу горива. Тако да треба наћи оптимално решење применом свих расположивих метода за снижавање буке код моторних возила [12].

Када би се пасивна изолација буке применила у нискофреквентној области, изолациони материјал би морао да бити масиван и велике дебљине, како би редуковао звучне таласе велике таласне дужине. Тада би возило имало гломазне пасивне пригушиваче. Из тог разлога је комбинација активне и пасивне контроле буке најефикаснија метода да се поништи нежељени звук [2].

Како би се пригушила структурна бука, примењују се панели који покривају изворе буке и спречавају буку да продре у унутрашњост кабине возила (слика 5.2). Пасивни пригушивачи имају постављене унутрашње апсорпционе слојеве тзв. „сендвич панели“. Простирање звука у водовима може се смањити применом апсорпционих пригушивача. Апсорпциони материјал се поставља или на зидове или на водове, као апсорпциони одвајачи, на пример код издувног система [2].

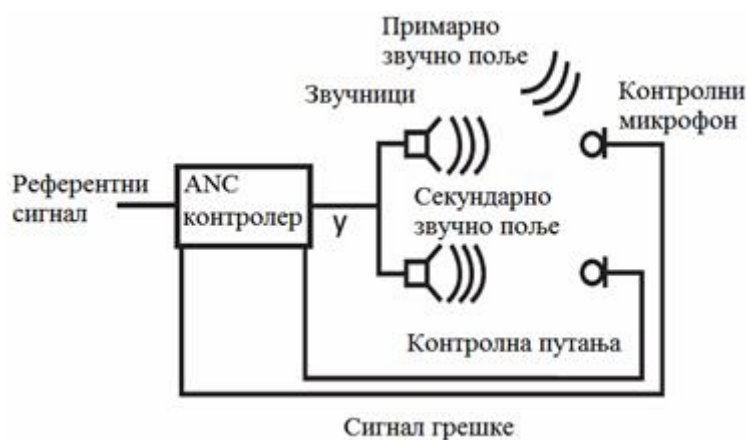


Слика 5.2. Звучна изолација аутомобила [16]

5.2. Методе активне редукције буке

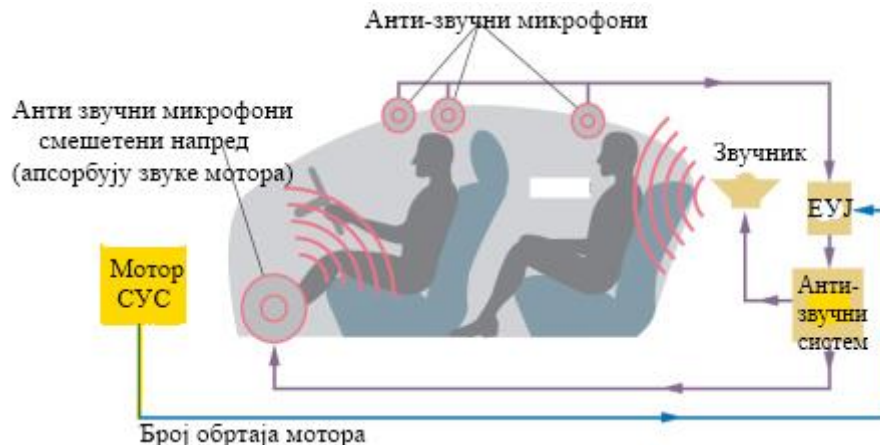
Активна контрола буке је вид изолације возила од буке применом суперпозиције два звучна таласа истог интензитета али супротних фаза, при чему се поништавају. Примарни звук простире се у кабини возила, док је други звук генерисан системом активне контроле буке ANC (Active Noise Control) које емитују звучници у кабини. Веома је битно да се најпре идентификује извор буке. Тај изворни сигнали се онда користи као референтни сигнал за активну контролу буке, односно редукцију буке.

Референтни сигнал се обрађује у ANC систему и затим се генерише други звучни сигнал „анти-бука“. Ова сигнал има исте амплитуде, а супротне фазе у односу на примарни звук. Резултат је поништавање оба звучна сигнала (слика 5.3).



Слика 5.3. Принципиј активне контроле буке возила [2]

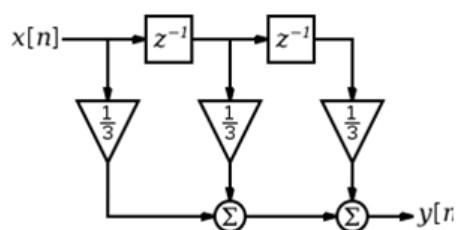
Возила која користе мотор сус користе разне материјале и дизајне ентеријера у сврху смањења буке мотора као и саме изолације путничког простора од нежељених утицаја буке ван аутомобила. Такве врсте звучних изолација знају бити скупе и тешке, што битно утиче на производњу и саме перформансе аута. Задњих година налазе се нови начини за смањивање буке у кабини помоћу активних система које производе тзв. „анти-шум сигнал“ у кабини аутомобила (слика 5.4).



Слика 5.4. Активна антивучна изолација у аутомобилима ANC (Active Noise Control) [17]

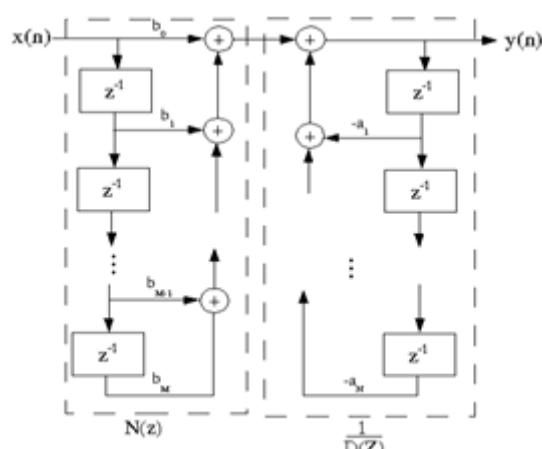
ANC систем је најефективнији у ниско фреквентној области, испод 500/600 [Hz], неки аутори наводе и до 1,5 [kHz], док је пасивни систем заштите од буке ефикасан у висок фреквентној области, што је у директној вези са таласном дужином звука. Како би систем ANC био што ефикаснији, битно је и да примарни и секундарни звук имају добро поклапање што се тиче акустичких таласних дужина. Из тог разлога је ANC систем ефикаснији при ниским учестаностима, где су таласне дужине велике у поређењу са величином средине у којој треба урадити поништавање буке. ANC систем се састоји од адаптивних контролних филтера и адаптивног алгоритма. На пример користи се адаптивни FIR филтер (Finite Impulse Response), слика 5.5. Адаптивни FIR

филтер има променљиво вредновање, што значи да може се прилагођава потребним променама звука.



Слика 5.5. Блок дијаграм FIR филтра [12]

Како сигнал буке нема константан карактер и како се мења са променом броја обртаја коленастог вратила мотора морају се користити адаптивни дигитални FIR и IIR филтери, (слика 5.6).

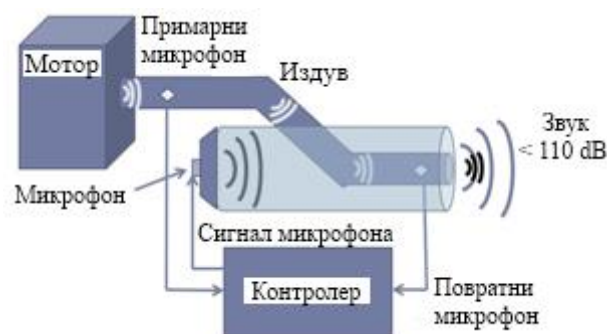


Слика 5.6. Блок дијаграм IIR филтра [12]

Користе се два типа активног смањења буке: негативна повратна спрега и позитивна повратна спрега. За ANC позитивну повратну спрегу може се користити као референтни сигнал, сигнал са тахометра или сигнал од давача броја обртаја коленастог вратила мотора. Излазни сигнал из ANC контролера се шаље у звучник и сигнал има исту амплитуду али супротну фазу. Као резултат добија се поништење побудног сигнала буке. Шум који још увек остаје у кабини возила је сигнал грешке, који се може снимити преко контролног микрофона и поново вратити у ANC контролер. Контролер користи адаптивни алгоритам помоћу кога дефинише потребно вредновање дигиталних филтера како би се добио минималан сигнал грешке. Многи од ANC система минимизирају ефективну вредност сигнала грешке, јер људско ухо реагује на ову величину [12].

Нпр. Хонда (Honda) је користила систем активне контроле буке који се састојао од звучника и микрофона постављених испод седишта возача. Сименс (Siemens) нпр. поставља звучнике у устисни вод да би смањив ниско фреквентну буку погонског агрегата. Примена активних пригушивача буке у издувном систему утиче на смањење потрошње горива за 5÷6% у градској вожњи [12].

На слици 5.7 је приказан пример звучне изолације. Издувна цев је уметнута у посебну цев у коју су смештени и звучници. У простору између цеви, на основу пријемног звучног сигнала, ствара компензациони звук и на крају цеви се слаже са буком из издувне цеви, тако да смањују буку из издувне цеви. На излазу се налази контролни микрофон са мерачем који адаптира и коригује рад пријемног антизвучног система.



Слика 5.7. Активно смањење буке издувавања [18]

5.3. Примена интелигентних материјала и тихих подлога путева

Активна контрола буке и вибрација код савремених возила не може се остварити без примене интелигентних материјала. Интелигентни материјали садрже пет основних елемената: структуру материјала, актуатор и сензора, контролу стратегије и кондиционирање електронике. Са свим овим компонентама интелигентне структуре имају способност да одговоре на промене средине и радне услове (вибрације, промена облика). Микропроцесорске анализе одзива сензора и примена интегрисаних контролних алгоритама за управљање актуаторима чиме се формира локални напони, померање или пригушење и мења се еласто-механички одзив система. Актуатори и сензори су интегрисани у структуру површинским утискивањем без стварања било каквих значајних промена у маси или структуралној крутости система.

Интелигентни материјали имају карактеристике сензора и актуатора. У стању су да реверзибилно мењају механичке особине (вискозитет, крутост и облик) зависно од промена температуре, електричног или магнетног поља. Код неких од ових материјала реверзни ефекат се може користи за сензорне активности да механичко оптерећење генерише електрично или магнетско поље. Најпознатији су пиезоелектрична керамика, магнетностриктивни материјали и легуре меморисаног облика. Најзначајнија карактеристика ових материјала су перформансе актуатора. Граничне карактеристике актуатора у структури ограничавају перформансе комплетне структуре [2].

Подлоге са ниским нивоима буке тзв. тихе подлоге као што су подлоге пута са танким слојем, двоструким слојем, порозни и пороеластичне подлоге дају значајне могућности за снижење буке које су комплементарне са мерама које се примењују за смањење буке мотора, издувног система и буке пнеуматика аутомобила и камиона (табела 5.2) [12].

Табела 5.2. Могућности за снижење нивоа буке у градским и ванградским срединама применом тихих подлога [12]

Подлога	Град	Ван градска средина	
	50 km/h	70 km/h	110 km/h
Танак слој асфалта	3 dB(A)	4 dB(A)	5 dB(A)
Двослојни асфалт	31,5 dB(A)	3 dB(A)	2 dB(A)

Примена тзв. тихих подлога има посебан економски ефекат у градским срединама где је готово немогуће применити звучну баријеру. У односу на звучну баријеру примена тихих подлога је за 80% исплативија.

5.4. Примена звучне баријере

Звучне баријере снижавају ниво буке за 3÷4 dB(A) и могуће их је применити у ванградским областима, поред аутопутева, обилазница и саобраћајница где нема кретања пешака. Звучне баријере за амортизацију саобраћајне буке су углавном чврсте препреке саграђене између аутопута и објеката уз аутопут. Овај вид заштите не може да потпуно апсобоје сву буку већ смањује ниво буке. Ефикасне баријере обично смањују ниво буке за 5÷10 dB на тај начин смањујући јачину звука саобраћајне буке за чак половину. На пример, баријера за заштиту од буке која постиже смањење буке за 10 dB може снизити ниво звука који производи камион који пролази на ниво звука који производи аутомобил.

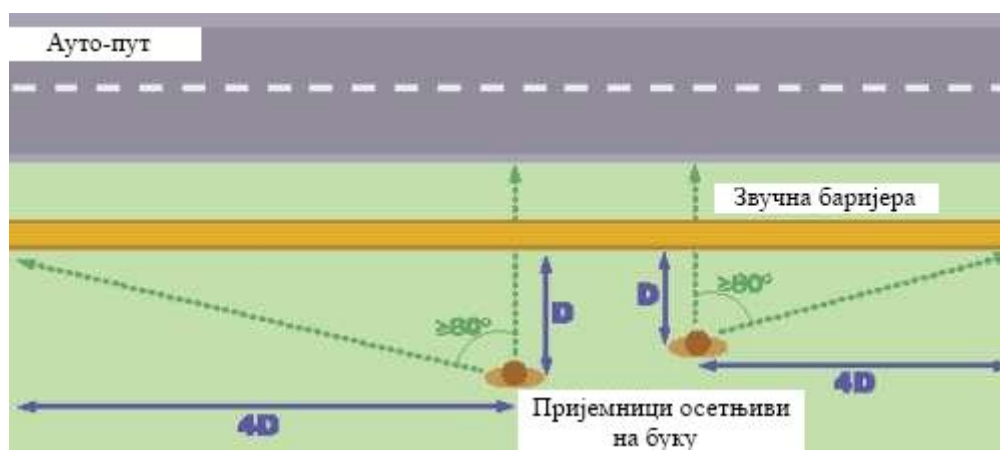
Без било какве баријере, бука налази директан пут до примаоца звука. Присуство баријере доводи до одбијања, преламања и преношења различитих делова звучне енергије. Смањени део звучне енергије и даље се директно шири због трансмисије. Оштре ивице баријера преламају или деле звучне таласе у различитим правцима и смањују њихов интензитет. Понекад, баријере су опремљене вишеструким ивицама како би се додатно преломила звучна енергија. Чак и у зони сенке до примаоца долази преломљена бука.

Баријера за заштиту од саобраћајне буке смањује звук који долази до насеља од стране аутопута апсорбујући звук, трансмитујући га, одбијајући га назад преко аутопута или принуђујући га да путује дужим путем преко и око баријере. Баријера мора бити довољно висока и довољно дугачка како би блокирала поглед на аутопут из области која треба да буде заштићена. Баријера може да постигне смањење од 5dB када је довољно висока да спречи поглед на аутопут. Након што спречи видљивост, са сваким додатним метром своје висине, баријера постиже око 1,5 dB додатног смањења буке (слика 5.8).

Како би се ефикасно смањила бука која долази преко крајева баријере, баријера треба да буде макар 8 пута дужа од растојања између примаоца и баријере (слика 5.9). Отвори у звучним баријерама за прилазне саобраћајнице или раскрснице неутрализују њихову ефикасност. Звучне баријере су по правилу ефикасније у смањењу буке у областима које су у кругу од око 60 m од аутопута.



Слика 5.8. Звучна баријера поред саобраћајнице [19]

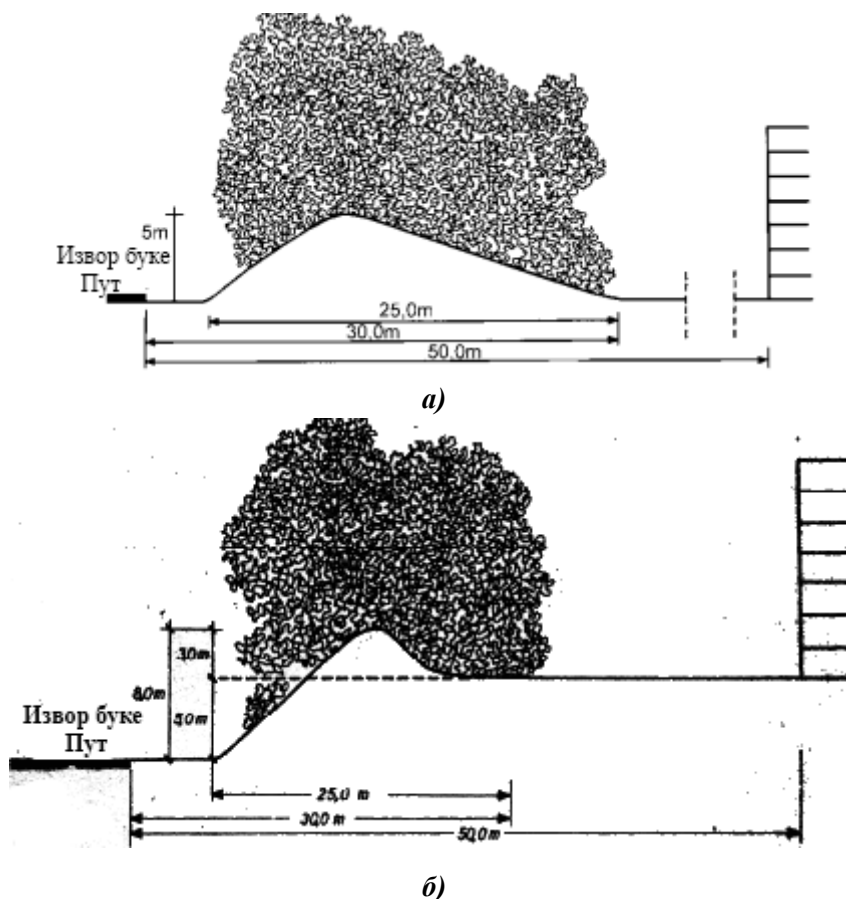


Слика 5.9. Потребна удаљеност и дужина звучне баријере како би била ефикасна [19]

Баријере за заштиту од саобраћајне буке могу бити направљене од земље, бетона, опеке, дрвета, метала и других материјала. Да би ефикасно смањили трансмисију звука кроз баријеру, изабрани материјал мора бити чврст и довољно густ (најмање 20 kg/m^2). Свака врста материјала подједнако је фиксна по питању звучне изолације ако има потребну густину.

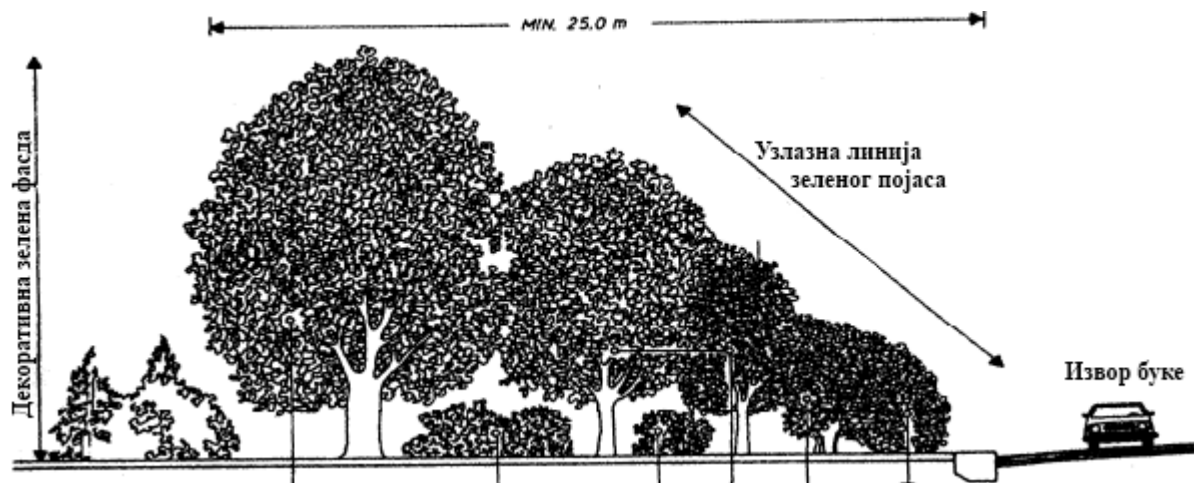
Земљане баријере имају веома природан изглед и обично су веома атрактивне. Оне снижавају ниво буке за око 3 dB више него вертикални зидови исте висине. Међутим, земљане баријере захтевају доста земље за изградњу, нарочито ако су веома високе. Зидови захтевају мање простора, али су обично ограничени на 8 m висине из конструктивних и естетских разлога.

Заштита од буке могућа је и применом тзв. зеленог појаса, а избор врсте зависи од њихове могућности да апсорбују звук (нпр. европска липа апсорбује до 9 dB, док срцолика липа само 4 dB). Високо апсорбујуће живе ограде са сопственим системом наводњавања, отпорне су све временске услове, погодне су за примену у градовима где често нема довољно места за веће биљке попут дрвета. На слици 5.9а приказана је заштитна баријера од буке коју чине зеленило и насип, док је на слици 5.9б, приказана заштита од саобраћајне буке коју чине зеленило и насип, док се пун налази у усеку.



Слика 5.9. а) заштита од саобраћајне буке уз помоћ насипа и зеленила, б) заштита од саобраћајне буке уз помоћ насипа и зеленила уз пут у усеку [6]

Зелени појас је мрежа природних или полу природних подручја коју сачињавају ниско жбунасто растиње, ниско дрвенасто растиње и високо растиње (дрво до 25 m висине), која пружа апсорпцију буке унутар урбаних делова и на тај начин повећава квалитет живота. То могу бити правилно дизајнирани паркови у градовима, зелени зидови који штите од буке, честица и издувних гасова са саобраћајница, дрвеће за птице, еко-мостови изнад саобраћајница, еко-канални, урбани вртови и др. На слици 5.10, приказан је зелени појас као заштита од буке поред саобраћајнице.



Слика 5.10. Заштита од саобраћајне буке применом зеленог појаса [6]

6. Закључак

Бука у саобраћају настаје применом превозних и транспортних средстава, попут моторних возила у друмском саобраћају. Бука и вибрација коју емитују моторна возила на возача се утичу тако што ометају аутоматизацију покрета, отежаном осматрању, замарању вратне мускулатуре, раздражљивости вестибуларног апарата и друге нус појаве. Извор буке возила може бити вишеструки: погонски агрегат, пнеуматици у контакту са подлогом, бука опструјавања, бука прострујавања и др.

Мотор са унутрашњим сагоревањем је главни извор вибрација једног моторног возила. У изворе буке на погонском агрегату могу се сврстати: бука струјања, бука створена вибрирањем делова мотора, бука створена вибрацијама вибрације издувног система, бука створена вибрирањем делова каросерије.

Законска регулатива која се односи на смањење нивоа буке у саобраћају коју емитују моторна возила разликују се у свакој земљи појединачно, али и постоје обавезујући међународни прописи. У Републици Србији ниво буке дефинисан је Законом о заштити од буке у животној средини. Такође, у примени су и законски прописи и Директиве Европске Уније које се односе на буку моторних возила и саобраћаја уопште, као и методе за мерење буке моторних возила. Начин мерења буке који су прописани стандардима, њеном применом може се доћи до жељених резултата који за циљ имају редукцију саме буке. Максимална дозвољена бука коју возило може да емитује је у границама 74÷80 dB(A) у зависности од категорије возила и снаге погонског агрегата.

Код савременог возила неопходно је обезбедити да има одговарајући акустички комфор, као и квалитетан апсорбера звука. Данас су примени разне методе за смањење буке, како на самом возилу, тако и применом одређених заштитних мера. Може се закључити да је најбољи начини за смањење буке на моторном возилу активна и пасивна редукција буке, као и примена интелигентних материјала.

Пасивна метода редукције буке представља најјефикаснију методу апсорпције буке код моторних возила, нарочито путничких. Углавном се користи код апсорпције у нискофреквентној области емитовања буке код моторних возила. Активна контрола буке је вид изолације возила од буке применом суперпозиције два звучна таласа истог интензитета али супротних фаза, при чему се поништавају.

За смањење буке на саобраћајницама најбољи начин за смањење је измештање фреквентних магистралних путева и аутопутева у ванградска подручја. Поред измештања саобраћајница ефикасан вид заштите од буке је и примена заштитних баријера, као и формирање зеленог појаса састављеног од ниског и високог растиња. Звучне баријере снижавају ниво буке за 3÷4 dB(A) и могуће их је применити у ванградским областима, поред аутопутева, обилазница и саобраћајница где нема кретања пешака.

Литература:

- [1] Пешић Р., Петковић Д., С., Веиновић С.: Моторна возила и мотори – Опрема, Машински факултет у Бања Луци и Крагујевцу, 2008., ISBN 978-99938-39-20-0
- [2] Радичевић Б., Мерење буке – скрипта у припреми, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, 2012.
- [3] Голубовић – Бугарски В., Скрипта – изводи из предавања, Машински факултет у Бањалуци, 2010.
- [4] Благојевић Н., Тадић Б., Петровић З. : Бука саобраћаја, преузето са: http://www.mfkv.kg.ac.rs/urbanoise/media/s1112_04_Buka_saobracaja.pdf, приступљено 21.2.2019.
- [5] Интернет презентација, Комунална бука – стање:
<http://www.znrfak.ni.ac.rs/serbian/010-STUDIJE/OAS-4-1/IV%20GODINA/PREDMETI/ZZS-417BUKA%20U%20ZIVOTNOJ%20SREDINI/PREDAVANJA/10.%20Izvori%20komunalne%20buke.pdf>, приступљено 23.2.2019.
- [6] Е student, Екологија, Интернет презентација „Buka u cestovnom prometu”: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/E/Ekologija_u_prometu/Materijali/Nastava_cestovni_promet_3.pdf, Fakultet prometnih znanosti Zagreb, притупљено 30.3.2019.
- [7] Goodyear, Етикета ЕУ за пнеуматике – бука: https://www.goodyear.eu/si_sr/truck/eu-tire-label/noise/, приступљено 23.2.2019
- [8] Давинић А., Мотори СУС 2 (предавање 14 – www.moodle.mfkg.rs), Факултет инжењерских наука Крагујевац, школска 2017./2018.
- [9] Закон о заштити од буке у животној средини („Сл. Гласник РС“, бр. 36/2009 и 88/2010)
- [10] Правилник о методама мерења буке, садржине и обиму извештаја о мерењу буке (Сл. Гласник РС бр. 72/10)
- [11] EUR Lex, Council Directive 70/157/EEC of 6 February 1970 on the approximation of the laws of the Member States relating to the permissible sound level and the exhaust system of motor vehicles:
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31970L0157>, приступљено 1.4.2019.
- [12] Лукић. Ј, Комплексна удобност возила – монографија, Машински факултет у Крагујевцу 2008., ISBN 978-86-86663-71-7
- [13] Barton D., Fieldhouse J., Automotive Chassis Engineering, Springer 2018, ISBN 978-3-319-72436-2
- [14] Милорадовић Д., Испитивње MBM 2 (предавања и вежбе – www.moodle.mfkg.rs), Факултет инжењерских наука Крагујевац, школска 2018/2019.

- [15] Bruel & Kjaer, Pulse Analyzers and Solutions: <http://asm-tm.ru/wp-content/uploads/2014/10/1Katalog-PULSE.pdf>, приступљено 1.4.2019.
- [16] GM, Listening Helps Cadillac ATS Shape Interior Acoustics: http://media.gm.com/media/us/en/gm/home.detail.html/content/Pages/news/us/en/2012/Nov/1102_ATS_sound_deadening.html, приступљено 4.4.2019.
- [17] Aktivna zvučna izolacija auta – ANC: <http://www.cice.com.hr/phpbb/viewtopic.php?f=160&t=51686>, приступљено 5.4.2019.
- [18] Schweber B., Analog IC Tips, Active noise cancellation, Part 1: Concept and principles: <https://www.analogictips.com/active-noise-cancellation-part-1-concept-and-principles-faq/>, приступљено 5.4.2019.
- [19] U.S. Federal Highway, Gradjenivarstvo.rs, Barijere za zaštitu od saobraćajne buke: <https://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/1729/820/barijere-za-zastitu-od-saobracajne-buke>, приступљено 6.4.2019.