



**УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА**

Саша З. Бабић

**МОДЕЛИРАЊЕ БУКЕ НАСТАЛЕ ОД
ДРУМСКОГ САОБРАЋАЈА НА ОСНОВУ
СТРУКТУРЕ ВОЗНОГ ПАРКА И ПАРАМЕТАРА
САОБРАЋАЈНОГ ТОКА**

Докторска дисертација

Крагујевац, 2013.



**УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА**



Саша З. Бабић

**МОДЕЛИРАЊЕ БУКЕ НАСТАЛЕ ОД
ДРУМСКОГ САОБРАЋАЈА НА ОСНОВУ
СТРУКТУРЕ ВОЗНОГ ПАРКА И ПАРАМЕТАРА
САОБРАЋАЈНОГ ТОКА**

Докторска дисертација

Ментор

Др Јованка Лукић, ред. проф.

Крагујевац, 2013.

ИНДЕТИФИКАЦИОНА СТРАНИЦА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I. Аутор
Име и презиме: Саша З. Бабић
Датум и место рођења: 24.06.1977. године, Трстеник
Садашње запослење: Висока техничка машинска школа струковних студија Трстеник
II. Докторска дисертација
Наслов: Моделирање буке настале од друмског саобраћаја на основу структуре возног парка и параметара саобраћајног тока
Број страница: 165
Број слика: 72
Број библиографских података: 102
Установа и место где је рад израђен: Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Научна област (УДК): 629.3.015; 534.836.2
Ментор: проф. др Јованка Лукић
III. Оцена и одбрана
Датум пријаве теме: 22.12.2011. године
Број одлуке и датум прихватања докторске дисертације: одлука Стручног већа за техничко технолошке науке Универзитета у Крагујевцу 1740/5 од 14.12.2011. и Одлука Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу бр 01-1/4313-18 од 22.12.2011,
Комисија за оцену подобности теме и кандидата: Др Драгољуб Радоњић, ред. проф., Др Радивоје Пешић ред. проф., Др Јованка Лукић ред. проф., Др. Петар Годоровић доц., Др Снежана Петковић, ванр. проф.
Комисија за оцену докторске дисертације:
Комисија за одбрану докторске дисертације:
Датум одбране дисертације:

Докторска дисертација је резултат мојих истраживачких активности које су помогнуте од стране многих људи па им се овим путем захваљујем.

Велику захвалност дугујем ментору проф. др Јованки Лукић за разумевање, подршку и помоћ која је од непроцењиве вредности приликом израде ове дисертације.

Захвалност дугујем и проф. др Радивоју Пешићу на помоћи и свим саветима који су ми много помогли у свим фазама израде дисертације.

Захваљујем се и осталим професорима са Катедре за моторна возила и моторе на подршци и помоћи у свим фазама мога рада.

Захваљујем се свим колегама са Високе машинске школе струковних студија Трстеник на разумевању и несебичној помоћи коју су ми пружили у циљу израде дисертације.

Захваљујем се својој породици на подршци, разумевању и вери коју су имали у мене.

Аутор

Моделирање буке настале од друмског саобраћаја на основу структуре возног парка и параметара саобраћајног тока

Резиме

Убрзан развој људског друштва је поред многих предности донео и одговарајуће недостатке. Један од проблема јесте и претерано загађење животне средине. Поред загађења ваздуха, воде, земљишта у новије време се појављује и загађење буком. Један од главних узрочника загађења буком јесте управо убрзан развој саобраћаја, и то посебно друмског саобраћаја. Смањење саобраћаја несумњиво води смањењу свих ових проблема, посебно проблема буке, али друмски саобраћај је од виталног значаја за развој како локалне тако и националне економије, тако да решавање проблема у овом правцу нема пре свега економског оправдања. Са друге стране присутна је чињеница да се на проблем буке не гледа као на проблеме загађења ваздуха или воде. Разлоге овога треба тражити пре свега у поступцима и начинима мерења буке услед чега оваква истраживања знају да буду прилично скупа и дуготрајна, али и у недовољно развијеној свести према овом проблему. Постојање одговарајућег модела за предикцију буке и његова примена би ове проблеме на неки начин ублажила што је и био основни разлог бављења оваквим једним истраживањем. У циљу решавања дела овог проблема развијен је методолошки приступ и модел за предикцију буке базиран пре свега на анализи литературе кроз преглед досадашњих истраживања у овој области, законских оквира у Србији, истраживањима на терену и анализи тако добијених података. Модел је тако конципиран да захтева реалне саобраћајне параметре, и то оне на које је могуће управљачки утицати у реалном времену како би се могао сагледати утицај таквих величина на ниво генерисане буке. Сам модел као излазни резултат дефинише ниво еквивалентне буке непрекинутог саобраћајног тока непосредно у зони саобраћајнице. На овај начин се постиже да се симулацијом и променом одређених величина саобраћајног тока као излазни резултата добије вредности еквивалентног нивоа буке у зони саобраћајнице. Одрађено је истраживање и мерење одређених улазних величина у модел са једне стране али и мерење буке саобраћајног тока са друге стране у циљу калибрације резултата модела. Валидација резултата самог модела је урађена у две фазе – и то улазних вредности модела као прва фаза валидације, и излазних резултата модела као друга фаза валидације са мереним вредностима, при чему је утврђено добро слагање мерених и симулираних вредности предложеног модела. Верификација тако добијених резултата је урађена кроз упоредну анализу са другим сличним моделима како би се проценила предност предложеног модела у односу на друге познате моделе. На основу свега је закључено да предложени модел може бити искоришћен за предикцију буке насталу од стране друмског саобраћаја у реалним условима са довољном поузданошћу. Такође је показано какав је допринос појединих параметара саобраћајног тока на ниво емитоване буке, чиме се стиче могућност да се деловањем на те параметре директно утиче на ниво еквивалентне буке. На овакав начин се омогућава један другачији приступ у доношењу одређених управљачких одлука које се тичу саобраћајног тока јер се постиже и могућност анализирања саобраћајне буке без потреба мерења на терену, као и сагледавање новопроектованих стања. Оно што је сасвим јасно јесте да за сада не постоји модел за предикцију буке који важи на глобалном нивоу и да модели за предикцију буке морају бити развијани за поједине земље, регионе и локалитете јер сваки од њих одсликава одређене карактеристике, тако да када се те карактеристике промене мењају се и резултати модела.

Кључне речи: предикција саобраћајне буке, еквивалентни ниво буке, параметри саобраћајног тока, моделирање

Modeling traffic noise caused by road traffic based on traffic fleet structure and traffic flow parameters

Summary

In addition to many benefits the rapid development of human society has brought corresponding disadvantages as well. One of the problems is the excessive pollution of the environment. Apart from air pollution, water pollution, and soil pollution, noise pollution has appeared recently. One of the main causes of noise pollution is the rapid development of transport, especially road transport. Reducing traffic undoubtedly leads to the reduction of all these problems, especially the noise issues, but road transport is vital for the development of both local and national economies, so solving the problems in this direction has primarily no economic justification. On the other hand the fact is that the noise problem is not considered as the problems of air and water pollution. The reasons for this could be found in the procedures and methods of noise measurement which is why this type of research tends to be quite expensive and time consuming, but also in the underdeveloped awareness of this problem. The existence of appropriate model for the prediction of noise and its application can mitigate these problems in a way, which is the main reason for doing this sort of research. In order to solve a part of this problem, the methodological approach and model is developed to predict noise and it is based primarily on an analysis of the literature through the review of previous research in this area, the legal framework in Serbia, field research and analysis of the obtained data. The model is designed to require real traffic parameters, i.e. the parameters that can be controlled in real-time so that the influence of these values on the level of generated noise could be considered. The model output defines the level of equivalent noise of the continuous traffic flow in the immediate area of the road. Thus the simulation and change of certain values of traffic flow provide the values of equivalent level of noise in the road area as the output results. The research and measurement of certain input values in the model are done, and on the other hand traffic flow noise is measured in order to calibrate the model results. Validation of the results of the model is done in two stages - validation of the model input values as the first stage, and validation of model output results as the second stage of validation with measured values, and there is good agreement between measured and simulated values of the proposed model. Verification of the obtained results is done through a comparative analysis with other similar models in order to evaluate the advantage of the proposed model compared to other well-known models. Based on the above it is concluded that the proposed model can be used to predict the noise caused by road traffic in real conditions with sufficient reliability. The contribution of some traffic flow parameters on the level of noise emission is shown, which makes it possible to directly affect the level of equivalent noise by affecting those parameters. The thesis, therefore, provides a different approach in making certain management decisions related to traffic flow because the traffic noise can be analyzed without any field measurements and the newly designed states can be considered as well. What is completely obvious is that currently there is no model for predicting noise which can be globally applied and that the models for the prediction of noise have to be developed for individual countries, regions and localities, as each of them reflects certain characteristics, so when these characteristics change the results of the model change, too.

Keywords: prediction of traffic noise, equivalent noise level, traffic flow parameters, modeling

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
1.1. Основне хипотезе од којих се полази у докторској дисертацији.....	2
1.2. Предмет и научни циљеви истраживања у докторској дисертацији	3
1.3. Структура и приказ дисертације по поглављима	4
2. ОПИС ПРОБЛЕМА	7
2.1. Бука у животној средини	7
2.2. Бука као последица друмског саобраћаја.....	10
2.3. Испитивање нивоа буке у функцији фактора који га условљавају.....	11
2.4. Веза са досадашњим истраживањима.....	12
3. ПРЕГЛЕД ТРЕНУТНОГ СТАЊА У ОБЛАСТИ МОДЕЛИРАЊА САОБРАЋАЈНЕ БУКЕ.....	14
3.1. Развој, врста и типови модела за предикцију саобраћајне буке.....	14
3.1.1. Основни статистички модели	15
3.1.2. Модели који као показатељ нивоа буке уводе еквивалентни ниво буке.....	16
3.1.3. Модели за предикцију буке који су имплементирани у оквиру стандарда појединих земаља	19
4. ИНДЕНТИФИКАЦИЈА УЛАЗНИХ ПАРАМЕТАРА И ЊИХОВА ВЕЗА СА НИВООМ САОБРАЋАЈНЕ БУКЕ.....	29
4.1. Возило као извор буке.....	30
4.1.1. Погонски систем као генератор буке.....	32
4.1.2. Бука сагоревања.....	32
4.1.3. Механичка бука мотора	33
4.1.4. Бука усисавања и издувавања.....	33
4.1.5. Бука система за хлађење	34
4.1.6. Систем пнеуматик-коловоз као генератор буке.....	34
4.1.7. Аеродинамичка бука	36
4.1.8. Бука трансмисије	38
4.1.9. Бука кочница	39
4.1.10. Закључна разматрања о буци возила	39
4.2. Саобраћајни ток као извор буке	41
4.2.1. Основни параметри и карактеристике саобраћајног тока.....	41
4.2.2. Теоријске релације између основних параметара саобраћајног тока	42
4.2.3. Интервал усредњавања – период интеграције буке	43
4.3. Избор одговарајућег индикатора буке.....	45
4.4. Карте буке	48

4.5. Карактеристике локације мерења	49
4.6. Положај микрофона.....	49
4.7. Типови возила	50
4.8. Метеоролошки услови и околна топографија.....	50
4.9. Емисиони ниво буке појединачног возила.....	51
4.10. Емисије буке појединачних возила у пролазу као улазни параметар у модел за предикцију буке	52
4.10.1. Квалитет мереног догађаја и критеријум минималног растојања за мерење емисије буке појединачног возила у покрету	52
4.11. Математички модел емисије буке појединачног возила коришћењем еквивалентног нивоа буке у временском интервалу	55
4.12. Индикатори буке који се користе у мерењу.....	57
4.13. Карактеристике мерне опреме за мерење буке.....	58
4.14. Показатељи привредног развоја и друског саобраћаја.....	58
5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА МЕРЕЊА	63
5.1. Мерна опрема.....	64
5.2. Структура возног парка у Србији	66
5.2.1. Преглед регистрованих возила у Србији.....	66
5.2.2. Анализа занављања флоте возила у Србији	68
5.2.3. Анализа старосне структуре возног парка	70
5.2.4. Анализа марке возила.....	72
5.2.5. Анализа врсте погонског агрегата	73
5.3. Преглед возног парка са аспекта дозвољене емисије буке.....	74
5.4. Истраживање параметара саобраћајног тока	80
5.4.1. Тестирање хипотезе о хомогености скупова структуре возног парка по данима у току недеље.....	86
5.4.2. Тестирање хипотезе о хомогености скупова структуре возног парка по сатима у току дана	87
5.4.3. Анализа структуре саобраћајног тока према подацима са аутоматског бројача	88
5.5. Класификација возила за примену у моделу.....	90
5.5.1. Анализа осталих параметара саобраћајног тока	94
5.6. Мерење еквивалентног нивоа буке појединачних возила одређених категорија – карактеристике процеса мерења.....	97
5.7. Резултати мерења емисионих вредности појединих категорија возила.....	98
5.8. Резултати мерења буке непрекинутог саобраћајног тока на одсеку пута.....	104
5.8.1. Утицај саобраћајних параметара на ниво еквивалентне буке саобраћајног тока....	106
6. РАЗВОЈ МАТЕМАТИЧКОГ МОДЕЛА	115
6.1. Општи услови у којима је модел дефинисан	118

6.2. Моделирање буке непрекинутог саобраћајног тока при нормалном простирању буке у односу на саобраћајну траку.....	119
7. ВЕРИФИКАЦИЈА И ВАЛИДАЦИЈА РЕЗУЛТАТА МОДЕЛИРАЊА НА БАЗИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ РЕЗУЛТАТА	124
7.1. Валидација и верификација резултата моделирања.....	126
7.1.1. Валидација и верификација резултата модела за предикцију буке на бази експерименталних мерења	126
7.1.2. Валидација и верификација резултата модела за предикцију буке на бази упоредне анализе са другим моделима.....	130
8. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА	136
8.1. Анализа предложене структуре саобраћајног тока	136
8.2. Дискусија емисионих вредности буке појединих категорија возила у пролазу	139
8.2.1. Величина узорка	139
8.2.2. Анализа емисионих вредности појединих група возила у пролазу	140
8.3. Анализа резултата модела за предикцију саобраћајне буке.....	147
9. ИЗГЛЕДИ И ПОБУДЕ ЗА ДАЉА ИСТРАЖИВАЊА.....	151
10. ЗАКЉУЧАК	154
11. ЛИТЕРАТУРА	160

1. УВОД

Када се говори о угрожавању животне средине поред разних штетности, данас се све чешће спомиње бука као један од доминантних извора загађења. Бука се најједноставније може дефинисати као сваки нежељени звук. Дејство буке на човека доводи до: губитка слуха, осећаја непријатности, психофизиолошких промена, смањења радног учинка и др. Бука у животној средини се често дефинише као комунална бука. Главни извор ове врсте буке је саобраћај. За разлику од индустријске буке, која у првом реду оштећује слух, комунална бука утиче првенствено на квалитет живота, реметећи природан ритам рада и одмора. Бука коју генерише друмски саобраћај је управо један од највећих еколошких проблема са којим се данас суочава људско друштво. Феномен буке ће вероватно остати један од основних експлоатационих, планерских и пројектантских проблема у будућности [1, 2]. Ово је пре свега због све веће осетљивости становништва на проблеме заштите околине, тако да је решавању овог проблема придодата велика пажња од стране свих учесника у друмском саобраћају (произвођачи возила, фирме за изградњу путева, различите саобраћајне компаније, контрола саобраћаја,...) [1, 2]. Пре свега треба рећи да је звук физичка појава а да је бука субјективан осећај. Наиме бука постоји ако има ко да је чује.

Буку, која је генерисана од стране саобраћаја у многим ситуацијама је потребно јасно препознати и квантификовати. Ово је пре свега могуће урадити на један од следећих начина:

- на основу спроведених домаћих истраживања,
- на основу постојања карти буке,
- на основу планирања простора и саобраћаја,
- на основу планирања и пројектовања путева,
- на основу процене утицаја на животну средину,
- жалби и пријава становништва.

Тежња данашњег саобраћаја је смањење буке у околини саобраћајница применом најразличитијих мера. Мере које се предузимају за снижење буке саобраћаја у околини саобраћајница су различите. Оне морају и треба да прате пре свега повећани обим свих врста саобраћаја. Са друге стране, у интересу друмског саобраћаја је да опслуже нарастајући саобраћај и да при томе не изгубе потенцијалне клијенте применом неких рестриктивних мера за смањење буке [3, 4].

Као најзначајнији фактори који утичу на ниво буке дуж једне саобраћајнице издвајају се: урбанистички, грађевински, технички и саобраћајни. Једини променљиви фактори од набројаних су саобраћајни фактори, обзиром да је ниво буке повезан са одређеним параметрима и карактеристикама саобраћајног тока. Резултати испитивања који се могу наћи у литератури [1, 2, 3, 5, 6] и код нас [2, 7] су фокусирани на разматрање појединих фактора (урбанистичких, техничких, грађевинских и сл.) док је утицај саобраћајних параметара углавном једнострано постављен. С обзиром на убрзан развој транспортних средстава и друмског саобраћаја, и обзиром на досада достигнути ниво сазнања о утицају карактеристике састава тока на услове одвијања саобраћаја, утицај састав тока на услове одвијања саобраћаја представља важно подручје истраживања. Између свих карактеристика реалног тока у односу на идеални ток, на коме су засноване изходне теоријске законитости, највећа разлика између реалног и идеалног тока је у карактеристици хомогености тока [1, 37].

Прихватање модела из других земаља без дубље анализе самог модела у смислу одговарања таквог модела условима саобраћаја једне земље, региона или града треба схватити као недовољно разумевање ове проблематике. У циљу анализе, смањења и предикције саобраћајне буке је неопходно успоставити и познавати везе између функционалних параметара емисије буке и мерљивих параметра саобраћајног тока. Емпиријски подаци из тренда кретања измерене саобраћајне буке су значајнији него подаци добијени анализом већ развијених модела [1], јер модели пружају могућност процене извесне релевантне вероватноће. Када су подаци о нивоима буке познати у одређеном временском периоду, могу се формирати јединствене функционалне везе и оне су у могућности да предвиде ниво саобраћајне буке на основу улазних параметара за наредни период. Усвајање већ развијених модела, како је већ речено, без верификације за наше услове саобраћаја даје непоуздане податке.

1.1. Основне хипотезе од којих се полази у докторској дисертацији

Математичке моделе за предвиђање саобраћајне буке других земаља треба узети као полазну основу који као улазне параметре узимају одређени број процењених података. Такве податке је неопходно калибрисати и емпиријски истражити за нашу земљу или конкретну саобраћајницу како би се добила најбоља слика о процењеном нивоу буке на основу тако усвојеног модела. За предвиђање саобраћајне буке није довољно аплицирати само неки модел без претходне анализе која може бити дата кроз усавршавање неког од постојећих модела, развој новог модела или кроз критичку анализу поређења пар модела.

Основна хипотеза од које се полази у оквиру дисертације је да се на основу праћења параметара и карактеристика саобраћајног тока, може преко одабраног математичког модела извршити предикција саобраћајне буке за постојећи и прогнозирани саобраћај на задовољавајући начин на конкретном делу саобраћајне мреже у нашим условима одвијања саобраћаја.

Уз основну хипотезу јавља се низ помоћних хипотеза које се могу илустровати кроз одговоре на следећа питања:

1. Може ли се бука коју производе аутомобили санирати техничким решењима?
2. Постоји ли позитивна интеракција између употребе аутомобила и њихових негативних утицаја на живот и здравље људи?
3. Може ли се проблем буке решити повећањем свести становништва о овом проблему или се искључиво ради о техничким и принудним решењима?
4. Да ли свако решење буке саобраћаја захтева значајна инвестицијска улагања и високу свест о штетности буке или је решења могуће потражити у неким управљачким величинама самог саобраћаја и тд.?

С обзиром на битно различите услове (амбијенталне, саобраћајне, регулативне, итд.) који утичу на одвијања саобраћаја, то је нужно неопходно дефинисати одговарајуће показатеље помоћу којих ће се описати услови одвијања саобраћаја на посматраној саобраћајници и на основу ових показатеља одредити ниво буке према предложеном моделу.

Основна претпоставка од које се полази јесте да утврђивање нивоа буке који се генерише од стране друмског саобраћаја директно произилази од саме структуре и састава саобраћајног тока са једне стране и услова одвијања саобраћаја са друге стране. Променом ових параметара директно може да се утиче на ниво саобраћајне буке на основу чега се они могу ставити у ред најутицајнијих параметара.

Крајњи исход је управо избор одговарајућег математичког модела који је у стању да предвиди, на одговарајући и задовољавајући начин ниво еквивалентне буке управо кроз упоредну анализу са другим референтним моделима чиме се постиже јасна валидност и оправданост тако предложеног модела. Кроз праћење основних параметара саобраћајног тока и њиховог тренда могуће је пратити и предвиђати ниво буке који се појављује на посматраном делу мреже. На овакав начин ефекат смањења буке може се директно остварити различитим начинима управљања саобраћајем. Избором одговарајућег модела за предикцију саобраћајне буке примарно насталу од друмског саобраћаја пружа се могућност да се контролише укупна емисија буке од моторних возила кроз одговарајуће управљачке механизме, што је пре свега од значаја за људско здравље и унапређење животне средине.

1.2. Предмет и научни циљеви истраживања у докторској дисертацији

Друмска возила се крећу по саобраћајницама на којима је могуће остварити различите услове кретања. Пре свега ови услови се односе на ометаност и неометаности саобраћајног тока (већи број пешачких прелаза, семафора, паркиралишта, зауставних елемената и тд.), који често

проузрокују заустављање и стартовање возила, или услови који важе на ванградским саобраћајницама на којима не постоје овакви елементи. При овим условима се јавља и различита производња буке која негативно утиче како на градску популацију али исто тако и на становништво које се налази у зони ванградских саобраћајница.

Наиме са гледишта услова кретања возила у саобраћајном току карактеристика, састав тока има веома комплексну и снажну улогу, јер испољава утицаје великих разлика које постоје у домену врсте и стања возила. Ова карактеристика такође може бити изражена и у домену психофизичких особина, обучености и мотивисаности возача који учествују у саобраћају [8]. У том смислу усвојене математичке моделе других земаља треба критички анализирати и прилагодити условима одвијања саобраћаја у нашој земљи како би се добили поуздани подаци о процењеном нивоу буке на основу тако усвојеног модела. Циљ дисертације је остваривање аналитичког инструментарија за дефинисање меродавних аргумената неопходних за доношење оптималних одлука по питању избора одговарајућих параметара саобраћајног тока у циљу предикције саобраћајне буке у нашој земљи.

Предмет дисертације су пре свега поступци анализе и избор одговарајућег модела за предикцију саобраћајне буке на основу појединих параметара саобраћајног тока (проток, брзина, густина...) као и карактеристика саобраћајног тока (структура тока, услови одвијања саобраћаја, старосне структуре и тд.). Основни задатак овог рада јесте дефинисање погодних показатеља, критеријума и поступака за објективно вредновање параметара и карактеристика саобраћајног тока, ради оцене њихове погодности да на адекватном нивоу буду репрезентативни као улазни параметри у изабрани модел за предикцију саобраћајне буке. Мерење буке саобраћаја на одсеку пута биће искоришћено за анализу и дефинисање најутицајнијих фактора саобраћајног тока на буку саобраћаја. Утицајни параметри треба да представљају улазне параметре у модел на основу којих би се урадило предвиђања буке саобраћаја. Упоредном анализом са другим референтним моделима постиже се валидност и оправданост предложеног модела.

1.3. Структура и приказ дисертације по поглављима

Темељну сврху ових истраживања представља анализа структуре саобраћајног тока на конкретној саобраћајници, као и одређени број параметара саобраћајног тока. Циљ оваквог истраживања је процена утицаја ових параметара на ниво емитоване буке у зони саобраћајнице, пре свега кроз избор одговарајућег модела за предикцију саобраћајне буке на живот и здравље људи.

Кроз сваку анализу па тако и ову ће бити утврђени одређени проблеми које је потребно темељито елаборирати и предложити одговарајуће решење у актуелним околностима, што слободно може се рећи, представља циљ ових истраживања. Посебна важност и актуелност истраживаног предмета и присутне проблематике је условила да се у току истраживачког процеса користе неке од научних метода: метода посматрања, метода анализе и синтезе, индукције и

дедукције, генерализације и специјализације, као и метода дескрипције. Сложеност и својеврсност ове проблематике је резултирала да се рад структурира у девет међусобно повезаних делова.

У првом делу, УВОДУ, дефинисани су предмет истраживања, постављена је полазна хипотеза као и помоћне хипотезе, образложени су сврха и циљеви истраживања, наведене су стручне истраживачке методе и дат је преглед структуре рада.

У другом делу који има наслов ОПИС ПРОБЛЕМА обрађен је утицај саобраћаја и саобраћајног тока на ниво емитоване буке. Дат је преглед одговарајуће литературе која се односи пре свега на предмет истраживања, али се такође приказује и проблематика ове појаве која је довела до оваквог истраживања.

У трећем делу под називом ПРЕГЛЕД ТРЕНУТНОГ СТАЊА У ОБЛАСТИ МОДЕЛИРАЊА САОБРАЋАЈНЕ БУКЕ су дефинисани и објашњени поједини актуелни модели који се данас користе у области моделирања саобраћајне буке, кроз њихово сагледавање од једноставнијих ка сложенијим моделима.

У четвртном делу овог рада под називом ИНДЕНТИФИКАЦИЈА УЛАЗНИХ ПАРАМЕТАРА обрађени су они параметри значајни са аспекта генерисања буке код моторног возила са једне стране али и утицај саобраћајних параметара са друге стране. Поред тога су дефинисани и одређени поступци и методе за анализу и мерење саобраћајне буке значајни пре свега са становишта прикупљања таквих података. Урађена су одређена теоријска истраживања која су дала одговоре пре свега на дефинисање плана и методе самих експерименталних истраживања.

У петом делу под називом ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА су дефинисане пре свега фазе експерименталног истраживања и дат преглед мерене опреме, начина прикупљања одређених података на самом мерном месту, као и обрада одговарајућих података. Овај део рада је условно обухватио три фазе истраживања. Прво је урађено експериментално истраживање које се односило на структуру саобраћајног тока, и ово истраживање је значајно са аспекта утврђивања меродавне структуре која ће се усвојити за даља истраживања тако дефинисане структуре. Други део је обухватио истраживања тако дефинисане структуре возног парка са аспекта емитовања буке у функцији брзине кретања таквих возила. Трећи део истраживања се односио на истраживање здружених фактора, односно истраживање буке самог саобраћајног тока као и мерење и праћење одговарајућих параметара саобраћајног тока значајних са аспекта њиховог доприноса на ниво емитовања буке.

У шестом делу рада под називом РАЗВОЈ МАТЕМАТИЧКОГ МОДЕЛА ЗА ПРЕДИКЦИЈУ САОБРАЋАЈНЕ БУКЕ је приказан развој одговарајућег модела за предикцију саобраћајне буке на основу одређених теоријских уопштавања и веза које постоје између нивоа емитоване буке, параметара и структуре саобраћајног тока. На основу оваквих теоријских уопштавања је приказан модел који је у стању да на поуздан начин предвиди ниво саобраћајне буке у зони саобраћајнице на основу одређених улазних података. У том циљу су прикупљени

експериментални подаци практично искоришћени за калибрисање самог модела чија је валидација детаљније обрађена у тачки седам.

У седмом делу рада под називом ВАЛИДАЦИЈА И ВЕРИФИКАЦИЈА МОДЕЛА је дата пре свега статистичка анализа резултата модела и експериментално измерених вредности. Калибрацијом самог модела и његовом упоредном анализом са осталим изабраним моделима је потврђена његова валидност и извршена је јасна верификација тако развијеног модела. На овај начин су дефинисани јасни разлози употребе овако развијеног модела у односу на усвојене моделе других земаља.

Осми део рада под називом ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА је практично објединио дискусије које су вршене упоредно са теоријским и експерименталним истраживањима, али и дискусије које су вршене приликом развоја самог модела, његове верификације и валидације. Може се рећи да је ово поглавље сажетак али и дорада појединих дискусија које су се већ водиле у другим деловима рада, како би се на првом месту објаснили добијени резултати, али и направиле разлике које постоје у односу на друга слична истраживања.

Девети део рада под називом ИЗГЛЕДИ И ПОБУДЕ ЗА ДАЉА ИСТРАЖИВАЊА је дало једну анализу могућих стања даљих истраживања овог проблема на основу онога што је проистекло из самих добијених резултата. Наиме овде је дат осврт на потенцијална будућа истраживања која би имала одговарајући допринос на резултате овог рада. Оваква истраживања би ову тему још више анализирати, превасходно кроз сагледавање недостатака оваквог истраживања, дефинисања евентуално нових поступака и методологије истраживања. Оваква врста истраживања треба бити усмерена ка дефинисању нових закључака везаних за ову врсту проблема у складу са технолошким променама пре свега на возилима, структури саобраћајног тока и технологијама градње нове или реконструкцији постојеће саобраћајне инфраструктуре.

Десети део рада под називом ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА даје приказ одређених закључака до којих се дошло у читавом раду. Овде су приказани они закључци који су на неки начин већ дефинисани у сваком поглављу овог рада али у сажетом облику. Закључна разматрања су дала приказ добијених резултата овог истраживања, као и кратак осврт на поједине интересантне резултате који су добијени током овог истраживања.

Једанаести део рада под називом ЛИТЕРАТУРА је поглавље у коме је дат преглед коришћене литературе у читавом раду која третира ову проблематику како у домаћој тако и у иностраној стручној јавности. Литература која је коришћена је објединила пре свега искустава код нас и у свету која су тренутно актуелна. Посебан акценат је дат на избор новије литературе, али је такође дат и преглед старије литературе како би се показала веза прошлости и садашњости, као и веза различитих праваца и метода које су заступали и користили различити аутори.

2. ОПИС ПРОБЛЕМА

2.1. Бука у животној средини

Бука у животној средини је светски проблем. Начин борбе против буке у великој мери зависи од културе, економије, политике и тд. Ниво акустичног загађења великих градова је веома висок и перманентно наставља да се повећава. Просечно 30-40 % градског становништва великих градова је изложено штетном утицају градске буке. Не постоји процена, на светском нивоу, о утицају буке на животну средину као ни о цени тог утицаја. Према подацима European Union's Green Paper on Future Noise Policy процењује се да[9]:

- 20 % популације (око 80 милиона) је изложено неприхватљивом нивоу буке који узрокује недостатак сна, узнемиреност и друге неповољне здравствене ефекте,
- додатних 170 милиона живи у зонама где ниво буке изазива стално ометање током дана,
- комунална бука кошта заједницу од 0,2 % до 2 % бруто националног дохотка.

На основу израда стратешких карата буке које је као обавезу прописала Европска Унија за своје чланице, према досадашњој анализи је указало на озбиљан проблем. Наиме процењује се да је око 54 % становника изложено непрекидној буци у току дана већој од 55 dBA, а око 15 % становника целодневном нивоу буке која је већа од 65 dBA. Процена је такође, да је око 68 милиона становника изложено непрекидном дејству буке у току дана примарно изазвану од друмског саобраћаја која је већа од 55 dBA. Овакви подаци указују на то да је бука друмског саобраћаја један од водећих извора буке у животној средини [10].

Ублажавање буке а самим тим и отклањање последица која она изазива данас је врло значајан задатак свих стручњака који се баве проблемима животне средине. Бука у животној средини или како се веома често зове комунална бука, дефинише се као бука коју стварају сви

извори буке који се јављају у човековом окружењу. Главни извори комуналне буке који се свакодневно срећу у човековом окружењу укључују [11]:

- изворе буке на отвореном простору и
- изворе буке у затвореном простору.

Извори комуналне буке на отвореном простору могу се даље поделити на следеће групе:

- саобраћај (друмски, железнички и ваздушни),
- грађевинске машине које се користе при извођењу јавних радова,
- индустрија,
- машине за кућну употребу,
- машине и возила за комунално одржавање,
- спортске активности, концерти, забавни паркови, аларми и тд.

Извори буке у затвореном простору могу бити разнолики у зависност од избора објекта посматрања. Основни извор градске буке је друмски саобраћај. У већим градовима развијених земаља еквивалентни ниво буке у стамбеним деловима града достиже од 66 dBA до 72 dBA, а на појединим деловима важнијих путева од 78 dBA до 85 dBA [12]. Такође, бука унутар станова у најпрометнијим деловима великих градова достиже ниво од 55 dBA до 63 dBA па чак и више, што изазива акустичну неудобност становништва која се манифестује погоршањем здравља и смањењем радне способности становника. У складу са важећим нормама бука у становима не сме бити виша од 30 dBA у току ноћи, односно 40 dBA у току дана [9, 10]. По најновијим истраживањима у Америци чак 51 % градског становништва пати од "буке". Такође, од 10 % до 12 % становништва европских градова изложено је буци изнад 65 dBA [13]. Грађани, пре свега у развијеним земљама, веома јасно препознају проблем и указују на буку као главни чинилац који критично оптерећује становништво.

Обзиром на порекло, бука је веома комплексна појава и има стохастички карактер. Анализа утицаја буке подразумева дефинисање параметара саобраћајне буке на дефинисаном путу на начин да се тако утврђена бука пореди са важећим законским прописима који прописују максималне дозвољене нивое буке за поједине зоне. Прекорачење дозвољених нивоа буке иницира потребу да се постојеће стање детаљније анализира и предузму одређене мере заштите. Наше законодавство прописује вредности ове максималне буке Табела 2.1.

Табела 2.1. Изводи највећег дозвољеног нивоа буке у dBA за различите намене простора у складу са [14]

Намена простора	Највиши дозвољени ниво спољне буке [dBA]	
	Дану	Ноћу
Пословно стамбене зоне Трговинске стамбене зоне Дечија игралишта	60	50
Центар града Специјализоване занатске комерцијалне административне зоне са становањем Зоне дуж путева и главних саобраћајница	65	55
Индустријске зоне, складишта, сервис и транспортни терминали без стамбених јединица	На ободима зоне бука не сме да прелази дозвољен ниво у суседној зони	

Светска здравствена организација (*WHO - World Health Organization*) препоручује да се ради процене утицаја чиниоца животне средине на здравље људи, из животне средине проучавају ваздух, вода и поступци уклањања отпадних вода и отпада, бука и здравље, услови становања, саобраћајни трауматизам, хемијски удеси и радијација. Према применљивости, квалитету, могућности поређења и заснованости на релевантним националним/интернационалним прописима, показатељи утицаја животне средине чији се утицај на здравље људи може пратити, WHO је 2004. године показатеље поделила у три групе [15]:

1. Показатељи који су одмах применљиви и препоручљиви за процену утицаја на људско здравље,
2. Показатељи који постоје, али чије непосредна примена није могућа,
3. Показатељи за чију примену су неопходна додатна истраживања.

Показатељи за које постоје сви неопходни подаци и који се могу се одмах израчунати / исказати спадају у I групу. То је, на пример, утврђен ниво буке у животној средини којој је изложена популација. Показатељи за које постоје непотпуни подаци, као што су доприносни утицај буке из животне средине на морбидитет и морталитет од кардиоваскуларних болести спадају у II групу. Показатељи за које недостају подаци за израчунавање / исказивање утицаја, као што су подаци о субјективном доживљају буке и субјективној процени утицаја буке на здравље, посебно ноћу захтевају додатна истраживања и спадају у групу III.

Табела 2.2. Применљивост показатеља животне средине у процени утицаја на здравље људи према методологији WHO [15]

Применљивост показатеља	Област животне средине	Препоручени показатељи
I. група Показатељи који су одмах применљиви и препоручљиви за процену утицаја на људско здравље	Ваздух	Изложеност популације аерозагађењу утврђена на основу: <ul style="list-style-type: none"> • Просечне годишње концентрације суспендованих честица, посебно PM_{10} и $PM_{2,5}$ • Прекорачења граничне вредности за азот-диоксид • Прекорачења граничне вредности за сумпор-диоксид
		Збирни индекс активности националне политике за смањење и ерадикацију пушења
		Транспорт путника у зависности од врсте превозног средства
		Бродски транспорт
		Потрошња горива у друмском саобраћају
	Вода и поступци уклањања отпадних вода и отпада	Емисија загађујућих материја у животној средини
		% популације са стално доступном довољном количином здравствено исправне воде
		Третман отпадне воде
	Бука и здравље	Квалитет вода за рекреацију
		Здравствена исправност воде за пиће
II. група Показатељи који постоје, али чија непосредна примена није могућа	Ваздух	Изложеност популације различитим дневним и ноћним нивоима буке пореклом из различитих извора
	Вода и поступци уклањања отпадних вода и отпада	Постојање националних прописа из области буке у животној средини
	Бука и здравље	Изгубљене године живота услед превремене смрти због изложености суспендованим честицама у ваздуху
III. група Показатељи за чију примену су неопходна додатна истраживања	Вода и поступци уклањања отпадних вода и отпада	Управљање водом за купање
	Бука и здравље	Бука у животној средини као доприносни чиниоц развоја кардиоваскуларних болести у популацији
		1. Учесталост болести преносивих водом 2. Постојање Плана обезбеђивања здравствене безбедности воде на националном / локалном нивоу (Water Safety Plans)
	Бука и здравље	Субјективан доживљај буке и субјективна процена утицаја буке на здравље

2.2. Бука као последица друмског саобраћаја

Буку коју производи саобраћај нарочито у градовима изузев оних делова насеља који се налазе близу аеродрома, градилишта или специфичних индустријских зона је управо главни узрочник ометања човековог живота и рада. Иако није увек главни узрок жалби грађана, саобраћај, односно превозна средства које човек користи, су доминантни извор буке у комуналној средини. Поред проблема буке коју стварају појединачна моторна возила, проблем саобраћајне буке још сложенијим чине услови одвијања саобраћаја.

Непрестани развој саобраћајне инфраструктуре, праћен повећањем броја моторних возила на постојећој мрежи саобраћајница али и повећање брзине како појединачних возила тако и просечне брзине саобраћајног тока доводи до константног повећања саобраћајне буке. Ако овој тврдњи придодемо и чињеницу да још увек постоји недостатак одговарајућих законских прописа пре свега у зони праћења, контроле и смањења нивоа буке може се слободно рећи да се ипак ради о забрињавајућем проблему који све више оптерећује животну средину и становништво у зони саобраћајница.

Друмском саобраћају се приписује приближно 70 % од укупне буке која настаје као последица саобраћаја [9]. Ниво и карактеристике саобраћајне буке зависе од различитих фактора који су пре свега стохастичне природе. У ред значајнијих фактора буке примарно изазвану од друмског саобраћаја, могу се убројати пре свега састав саобраћајног тока, брзине појединачних возила, брзина саобраћајног тока, старосна структура возила, начин управљања моторним возилом, врста и стање коловозног застора, околна топографија, нагиба пута, временска неравномерност саобраћајног тока, атмосферски утицаји, режими кретања аутомобила (убрзање, успорење, равномерно кретање и тд.), техничко стање моторних возила и тд. [16].

Поједини фактори се могу мењати и више пута у току дана или у оквиру мањих временских јединица (1 h или min) на истој локацији, тако да је могуће добијати различите податке везано за буку на посматраној локацији у различитим временским интервалима.

Раскрснице путева и друге локације код којих долази до повремених прекидања саобраћајног тока могу представљати значајне изворе саобраћајне буке. На овим деловима мреже методе управљања саобраћајем, техничка и регулативна решења могу значајно допринети смањењу овако изазване буке (посебне траке са скретања, линијска координација светлосних сигнала, кружне раскрснице и тд.).

Различити видови транспорта имају различите нивое емисије буке. Ако посматрамо само друмски саобраћај, као суму свих бука насталих од аутомобила, камиона и аутобуса ствара се константна амбијентална бука која може доста да варира и која негативно утиче на квалитет живота у урбаним срединама. Такође, утиче на вредност некретнина у тим областима јер умањује њихову вредност. Близина главних саобраћајница узрокује, да амбијенталну буку мењају директна бука и вибрације примарно настале од саобраћаја. Акустика коју ствара оближња околина (брда, зграде, дрвеће, отворени простор, и тд.) снижава или повишава постојећи ниво буке.

2.3. Испитивање нивоа буке у функцији фактора који га условљавају

Као најзначајнији фактори који утичу на ниво буке дуж једне саобраћајнице издвајају се: урбанистички, грађевински, технички, психолошки и саобраћајни. Једини променљив фактор од набројаних су саобраћајни фактори. Утврђивање нивоа буке мора бити повезано и са одређеним параметрима и карактеристикама саобраћајног тока. Резултати испитивања који се могу наћи у литератури [29, 30, 34] и код нас [2, 7] су фокусирани на разматрање појединих фактора (урбанистичких, техничких, грађевинских и сл.) док је утицај саобраћајних параметара углавном једнострано постављен без разматрања њиховог заједничког дејства, нарочито дејства структуре и густине саобраћајног тока. На основу резултата испитивања који се могу наћи у литератури могуће је донети одређене закључке када је реч о утицају одређених фактора на ниво буке [30, 34, 35, 36]. Међутим, мали број истраживања а нарочито она која се врше код нас, не дају баш јасне одговоре на основу којих се могу доносити препоруке и предлози о предузимању одређених мера за спречавање прекомерног емитовања буке. Обзиром на циљеве који се желе постићи неопходно је утврдити такву методологију мерења буке пре свега која може дати поуздан податак за доношење одређених тврдњи и предлога мера.

С обзиром на убрзан развој транспортних средстава и путног саобраћаја, и с обзиром на досада достигнути ниво сазнања о утицају карактеристике састава тока на услове одвијања саобраћаја, утицај састав тока на услове одвијања саобраћаја на мрежи је недовољно изучен и ово представља важно подручје будућих истраживања. Између свих карактеристика реалног тока у односу на идеални ток, на коме су засноване изходне теоријске законитости, највећа разлика између реалног и идеалног тока је у карактеристици хомогености тока [37]. Прихватање модела из других земаља без дубље анализе самог модела у смислу одговарања таквог модела условима саобраћаја једне земље, региона или града треба схватити као недовољно разумевање ове проблематике. Иако у решавању проблема саобраћајне буке није баш могуће доћи до брзих задовољавајућих решења, сва предложена решења морају бити плод техничких и регулативних мера базираних на савременим достигнућима науке.

У циљу побољшања услова живота становништва пре свега у урбаним насељима и зонама у близини фреквентних саобраћајница неопходно је развити одговарајући модел за предикцију буке који ће моћи да прогнозира буку полазећи пре свега од оних параметара којима је могуће управљати на одређени начин. То управо јесу саобраћајни параметри (проток, брзина, структура тока и тд.). Један такав модел мора пре свега поћи од постојећег стања нивоа емитоване буке али и могућности да прогнозира ниво буке како би било могуће проверити адекватност модела у неким наредним периодима. Када се дефинише један овакав модел он омогућава пре свега процену ефекта буке на животну средину још у фазама пројектовања и планирања одговарајућих саобраћајница и њиховог положаја у урбаним срединама, њиховог размештања у формама обилазница или пак реконструкцијом постојећих саобраћајница. Ово пре свега треба бити резултат анализе саобраћајних параметара и оправданости оваквих решења из чега треба да проистекне акустично зонирање и планирање простора сходно намени простора.

2.4. Веза са досадашњим истраживањима

На квалитет људског живота у ствари доста утиче континуално излагање акустичној енергији нарочито буци. Ниво ове буке је обично дефинисан и одређен одређеним законским решењима како у појединим земљама тако и међународним стандардима. Процена утицаја буке на животну средину је из ових разлога неопходно спроводити и перманентно вршити. Ово може бити спроведено пре свега реализовањем кампање мерења или одређеном симулацијом. Математички модели за предвиђање буке саобраћаја почели су да се развијају још током педесетих и шездесетих година прошлог века. То су били једноставни модели који су само предвиђали ниво буке који емитује возило које се кретало константном брзином. Каснији модели су користили као излазни параметар еквивалентни ниво буке али за променљиве услове тока саобраћаја. У почетку то су били линеарни модели који су се заснивали на вредновању по тежинској криви А за тачкасте изворе. Број извора се мењао како се мерна и рачунарска техника развијала. До данас је развијан велики број модела за предвиђање буке саобраћаја [4, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25].

Најпознатији развијени модели, који су током времена побољшавани су: FHWA Traffic Noise Model (*FHWA - Federal Highway Administration*), који је развио Федерални департман за транспорт САД, CoRTN (*CoRTN - Calculation of Road Traffic Noise*) процедура за процену буке саобраћаја који је развио департман за животну средину Велике Британије, RLS 90 (*RLS - Richtlinien fur den larmschutz an strassen*) развијен према стандарду за заштиту од буке на саобраћајницама у Немачкој, софтвер MITHRA развијен у Француској и многи други. Међутим сви развијени модели до сада су циљано намењени одређеним групама пројектаната: инжењера нискоградње, аутомобилских инжењера или архитеката [1]. Посебно треба истаћи специфичности развијених модела у [11, 18, 25, 26, 27, 28], које се огледају у специфичним карактеристикама саобраћаја средине за коју су модели развијени. Подаци о валидацији ових модела у другим карактеристичним срединама нису дати.

Као што је већ напоменуто идеалан-хомоген саобраћајни ток практично не постоји, па из тог разлога математичке моделе, одређени број улазних података је неопходно истражити за поједине земље, градове и саобраћајнице како би се добила најбоља слика о процењеном нивоу буке на основу тако усвојеног модела [4, 17, 25, 29, 30, 31, 32]. У оквиру истраживања утицаја саобраћајне буке на животну средину потреба за одговарајућим моделом за предикцију буке је од пресудног значаја. Разлог томе је што један овакав модел омогућава процену утицаја на животну средину у случају постојеће инфраструктуре, односно за постојећу саобраћајну мрежу или приликом пројектовања и изградње нове мреже или пута, чиме се омогућава сагледавање буке и свођење утицаја буке на минимум.

Развој модела за предикцију саобраћајне буке је започето, како је већ речено, готово пре педесетак година и резултати ових модела су веома често били релативно поуздани. Поједини модели су развијани узимајући у обзир следеће [16, 33]:

- проток возила,
- структуру саобраћајног тока (углавном лака и тешка возила),
- типове коловозних површина,
- растојање између извора и места имисије.

Неколико модела је развијено широм света узимајући у обзир разлике у путевима, врсти возила, особености самих земаља и временских карактеристика. Практично гледано развој модела има своје две стране:

1. једна страна је коришћење ових модела у пројектовању и изградњи нове путне инфраструктуре у циљу процене и сузбијања утицаја саобраћајне буке на окружење како би се избегле накнадне реконструкције и додатни радови на отклањању овог проблема који обично са собом повлаче велике трошкове,
2. друга страна је коришћење ових модела на постојећој саобраћајној мрежи како би се кампања мерења могла свести на минималну могућу меру и користила само за „дотеривање“ модела.

Многе земље су одлучиле да неке од ових модела уврсте у законска решења устројавајући који тачно од ових модела могу бити коришћени за предикцију саобраћајне буке. У тећем поглављу биће представљени неки од најчешће коришћених модела данас у свету, кроз истраживање њихових главних карактеристика и особености [8]. У том делу истраживања приказаће се неки од модела који се обично користе у Европи пратећи њихову еволуцију почевши од елементарних и генералних концепата предикције буке ка сложенијим формулама које могу да укључе мноштво корективних услова и фактора.

3. ПРЕГЛЕД ТРЕНУТНОГ СТАЊА У ОБЛАСТИ МОДЕЛИРАЊА САОБРАЋАЈНЕ БУКЕ

3.1. Развој, врста и типови модела за предикцију саобраћајне буке

Математички модели за предикцију саобраћајне буке се углавном базирају на експерименталним мерењима саобраћајне буке у зонама појединих саобраћајница и повезивање тако измереног ниво буке са одређеним параметрима који доводе до генерисања тог нивоа буке. Може се рећи да готово сви расположиви модели који се данас могу срести у литератури се углавном базирају на одговарајућим корелационим везама нивоа саобраћајне буке и одговарајућих саобраћајних параметара и карактеристика саобраћајнице на месту емисије како би се могла добити одговарајућа тачност тако прорачунатог ниво буке на месту емисије. Овакве везе се најчешће добијају статистичком обрадом тако измерених података при чему је крајњи резултат одговарајући емпиријски модел дефинисан одговарајућом једначином. Сасвим је јасно да овакав приступ развоју модела има и одређене недостатке. Основни недостатак оваквог приступа је тај што овако добијени математички модели укључују у себе одређене карактеристике и специфичности мерног места, карактеристике мереног саобраћајног тока тако да не могу дати увек јасну и тачну апроксимацију промене ниво буке услед промене одређених параметара. Ово упућује на битну чињеницу да моделе који се усвајају за неку анализу треба критички сагледавати за одређену локацију и пажљиво анализирати тако добијене резултате. У оквиру овог поглавља биће у кратким цртама приказани одређени модели за предикцију саобраћајне буке. Приказ модела биће дефинисан према степену њихове развијености од једноставнијих ка сложенијим моделима.

3.1.1. Основни статистички модели

Први покушаји моделирања и предикције саобраћајне буке везани су за период педесетих и шездесетих година прошлог века. Ови модели су углавном били везани за процену процентуалних вредности буке и то најчешће L_{50} , који се може најједноставније преставити као ниво буке који је премашен у 50 % посматраног временског интервала у периоду мерења. Ови модели се углавном односе на континуални ниво флукса, узимајући у обзир константну брзину и хомогеност у возном парку, без анализе структуре саобраћајног тока. Један од првих модела овог типа је развијен 1952. године за брзине од 35 mph до 45 mph (од 55 km/h до 75 km/h) и растојања већа од 20 feet-а (6 m) је приказан изразом [3]:

$$L_{50} = 68 + 8,5 \log(Q) - 20 \log(d), \quad (3.1)$$

где је:

L_{50} – ниво буке који је премашен у 50 % посматраног временског интервала [dBA],

Q – проток возила [voz/h] и

d – растојање од тачке мерења до средине саобраћајне траке [feet].

Код овог модела се може приметити да узима у обзир само број возила у саобраћајном току не анализирајући структуру самог тока, и то при унапред дефинисаним брзинама кретања возила.

У наредних неколико година, *Nickson et al.* су дефинисали нови модел који је укључио нови параметар који ће повезати добијене резултате на основу овако дефинисаног модела и експерименталне резултате. Они су предложили следећи модел [29]:

$$L_{50} = C + 10 \log\left(\frac{Q}{d}\right), \quad (3.2)$$

где је:

L_{50} – ниво буке који је премашен у 50 % посматраног временског интервала [dBA],

Q – проток возила [voz/h],

d – растојање од тачке мерења до средине саобраћајне траке [feet] и

C – константа која може бити процењена на основу анализе експерименталних података.

Johnson et al. су дефинисали модел који је по први пут приликом прорачуна узимао у обзир и брзину возила. Модел који су предложили за L_{50} је приказана изразом [3]:

$$L_{50} = 3,5 + 10 \log\left(\frac{QV^3}{d}\right), \quad (3.3)$$

где је:

L_{50} – ниво буке који је премашен у 50 % посматраног временског интервала [dBA],

Q – проток возила [voz/h],

d – растојање од тачке мерења до средине саобраћајне траке [feet] и

V – брзина возила у саобраћајном току [mph].

Овакав модел је дао добро слагање са експерименталним подацима али за претпостављени проценат теретних возила у саобраћајном току од 0 % до 40 % без анализе саме структуре саобраћајног тока.

Неколико година касније *Galloway et al.* су унапредили модел *Johnson et al.* тако што су у овај модел убацили и стварни процената теретних возила. Модел који су предложили за L_{50} је приказана изразом [3]:

$$L_{50} = 20 + 10 \log \left(\frac{QV^2}{d} \right) + 0,4P, \quad (3.4)$$

где је:

L_{50} – ниво буке који је премашен у 50 % посматраног временског интервала [dBA],

Q – проток возила [voz/h],

d – растојање од тачке мерења до средине саобраћајне траке [feet],

V – брзина возила у саобраћајном току [mph] и

P – проценат учешћа теретних возила у саобраћајном току.

Посматрајући претходно наведене моделе може се рећи да су то модели који су развијани углавном за предикцију буке користећи статистички индикатор буке L_{50} . Као улазне податке су претежно користили проток возила као један од параметара саобраћајног тока не анализирајући ништа друго везано за саобраћајни ток (брзину возила, структуру тока, услове одвијања саобраћаја и тд.). Даљина мерења буке од тачке мерења до средине саобраћајне траке је код свих модела била присутна као корекциони фактор.

3.1.2. Модели који као показатељ нивоа буке уводе еквивалентни ниво буке

Модели који су се развијали у новије време уводе пре свега нове показатеље нивоа буке, односно један показатељ који се издвојио од осталих и који се показао као добар показатељ у описивању феномена буке - еквивалентни ниво буке у ознаци L_{eq} .

Један од највише коришћених модела овог типа јесте *Burgess-ов* модел који је презентираан први пут у Сиднеју у Аустралији. Овај модел је приказан изразом [3]:

$$L_{eq} = 55,5 + 10,2 \log(Q) + 0,3P - 19,3 \log(d), \quad (3.5)$$

где је:

L_{eq} – еквивалентни ниво буке [dBA],

Q – проток возила [voz/h],

d – растојање од тачке мерења до средине саобраћајне траке [m] и

P – проценат учешћа теретних возила у саобраћајном току.

Други такође, често коришћени модел се може препознати као „*Griffiths and Langdon Method*“. Овај модел полази од чињенице да се еквивалентни ниво буке може изразити преко процентуалних индикатора на основу израза [3]:

$$L_{eq} = L_{50} + 0,018(L_{10} - L_{90})^2, \quad (3.6)$$

где је:

L_{eq} – еквивалентни ниво буке [dBA],

L_{10} – ниво буке који је премашен у 10 % посматраног временског интервала [dBA],

L_{50} – ниво буке који је премашен у 50 % посматраног временског интервала [dBA] и

L_{90} – ниво буке који је премашен у 90 % посматраног временског интервала [dBA].

при чему се процентуални индикатори који се користе у изразу (3.6) могу статистички изразити преко следећих израза:

$$L_{10} = 61 + 8,4 \log(Q) + 0,15P - 11,5 \log(d), \quad (3.7)$$

$$L_{50} = 44,8 + 10,8 \log(Q) + 0,12P - 9,6 \log(d), \quad (3.8)$$

$$L_{90} = 39,1 + 10,5 \log(Q) + 0,06P - 9,3 \log(d), \quad (3.9)$$

где је:

Q – проток возила [voz/h],

d – растојање од тачке мерења до средине саобраћајне траке [m] и

P – проценат учешћа теретних возила у саобраћајном току [%].

Fagotti et al. су неколико година касније унапредили претходне моделе тако што су у модел увели протоке различитих врста возила. Овај модел, је може се рећи, по први пут анализирао стварне протоке појединих категорија возила у саобраћајном току. Модел који су предложили се може приказати изразом [3]:

$$L_{eq} = 10 \log(Q_L + Q_M + 8Q_P + 88Q_{BUS}) + 33,5, \quad (3.10)$$

где је:

L_{eq} – еквивалентни ниво буке [dBA],

Q_L – проток лаких возила у саобраћајном току [voz/h],

Q_M – проток моторцикала у саобраћајном току [voz/h],

Q_P – проток средњих и тешких возила у саобраћајном току [voz/h] и

Q_{BUS} – проток аутобуса у саобраћајном току [voz/h].

Модел који је дефинисан од стране „*Centre Scientifique et Technique du Batiment*“ (C.S.T.B.) у Француској за предикцију еквивалентног нивоа буке је узимао у обзир просечан акустични ниво (L_{50}) и приказан је изразом [6]:

$$L_{eq} = 0,65 L_{50} + 28,8, \quad (3.11)$$

где је:

L_{eq} – еквивалентни ниво буке [dBA],

L_{50} – ниво буке који је премашен у 50 % посматраног временског интервала [dBA].

Вредности за просечан акустични ниво L_{50} се израчунава узимајући у обзир само еквивалентни проток возила (Q_{eq}) и приказан је изразом:

$$L_{50} = 11,9 \log Q_{eq} + 31,4, \quad (3.12)$$

где је:

Q_{eq} – еквивалентни проток возила [voz/h],

када су у питању градске саобраћајнице и аутопутеви код којих је еквивалентни саобраћајни ток мањи од 1000 voz/h. Ако су у питању градске саобраћајнице са високим зградама које се налазе непосредно уз ивицу саобраћајнице користи се израз:

$$L_{50} = 15,5 \log Q - 10 \log L + 36, \quad (3.13)$$

где је:

Q – укупан проток возила [voz/h] и

L - ширина пута посматрано у правцу тачке мерења [m].

Анализом претходних модела се може приметити да се сви модели за предикцију еквивалентног нивоа буке могу на неки начин приказати једним генералним изразом из кога издвајањем неких елемената из овог израза, он прераста у поједине моделе за предикцију саобраћајне буке. Општи израз за предикцију еквивалентног нивоа саобраћајне буке у одговарајућој тачки имисије може бити приказан следећим изразом [38]:

$$L_{eq} = a \log Q \left[1 + \frac{P}{100} (n - 1) \right] + b \log(d) + c, \quad (3.14)$$

где је:

L_{eq} – еквивалентни ниво буке [dBA],

a, b, c – коефицијенти регресије,

d – растојање од тачке мерења до средине саобраћајне траке [m],

P – проценат учешћа теретних возила у саобраћајном току [%] и

n – акустични еквивалент.

Обзиром да тежа и већа возила генеришу већи ниво буке него мања и лакша возила, фактор n који се нашао у изразу (3.14) је неопходно посебно размотрити и може се назвати акустични еквивалент. Акустични еквивалент представља број лакших (путничких) возила који генеришу исти ниво акустичне енергије као тешка возила (теретна возила). Акустични еквивалент n се може проценити на основу метода регресионе анализе или да се конкретно утврди на основу мерења за свако конкретно возило (моторцикли, аутобуси, аутовозови и тд.).

Поред акустичног еквивалента овде се појављује и еквивалентни проток возила. Еквивалентни проток у суштини одсликава одговарајућу структуру саобраћајног тока на основу дефинисаног акустичног еквивалента. Наиме за утврђивање еквивалентног протока возила Q_{eq} се може дефинисати општи израз [4, 38]:

$$Q_{eq} = Q \left[1 + \frac{P}{100} (n - 1) \right], \quad (3.15)$$

где је:

Q_{eq} – еквивалентни проток возила [voz/h],

Q – укупан проток возила [voz/h],

P – проценат учешћа теретних возила у саобраћајном току [%] и

n – акустични еквивалент.

Коефицијенти a , b и c се могу израчунати, за конкретно подручје истраживања, помоћу метода регресионе анализе за конкретне податке о еквивалентном нивоу буке L_{eq} , различите протоке возила Q , процентуалној заступљености тешких возила P и различитих растојања мерења d који се експерименталним мерењем добијају на посматраном подручју.

3.1.3. Модели за предикцију буке који су имплементирани у оквиру стандарда појединих земаља

3.1.3.1. Енглески стандард: CoRTN модел

Модел CoRTN (*CoRTN – Calculation of Road Traffic Noise*) је развијен од стране Transport and Road Research Laboratory and the Department of Transport of the Unnited Kingdom 1975. године, а 1988. године је поново модификован [39]. Као индикатор буке користи L_{10} и врши прорачун буке у периоду од једног сата као и за период од осамнаест сати. Модел процењује ниво буке на референтном растојању од 10 m мерено од стране најближе ивице коловоза. Параметри који су укључени у овај модел су:

- проток возила,
- структура саобраћајног тока,
- просечна брзина возила у саобраћајном току и
- нагиб пута, тип и врста коловозног застора.

Основна хипотеза од које се полази приликом коришћења овог модела је да је коловозна површина сува и да је брзина ветра умерена. CoRTN процедура подразумева рад на прорачуну нивоа буке у пет корака кроз спровођење одређених активности:

1. Извршити поделу саобраћајне деонице на један или више одсека водећи рачуна при томе да варијације буке између овако дефинисаних одсека не буду веће од 2 dBA,
2. Израчунати ниво основне буке на 10 m удаљености од најближе ивице коловозне површине на сваком одсеку. Саобраћајни ток се у овом случају узима као линеарни извор

буке који се налази на 0,5 m изнад коловозне површине и 3,5 m удаљен од ивице коловоза. Овај ниво буке зависи од брзине, величине и структуре саобраћајног тока.

3. Израчунати ниво буке, за сваки сегмент (одсек) узимајући у обзир слабљење услед растојања и баријера од извора до тачке мерења,
4. Кориговати нивао буке узимајући у обзир:
 - рефлексију насталу услед одбијања звучних таласа од околних зграда и фасада са једне и друге стране у односу на тачку мерења (са супротне стране у односу на тачку мерења и од околних зграда које се налазе иза тачке мерења),
 - величину извора на посматраном одсеку (угао посматрања).
5. Извршити обједињавање резултата са свих мерних тачака како би се добила јединствена слика о нивоу буке на читавој посматраној саобраћајној деоници.

Основни ниво буке на часовном нивоу се може предвидети на растојању од 10 m од најближе ивице коловоза захваљујући следећем изразу:

$$L_{10}(1h) = 42,2 + 10 \log(q), \quad (3.16)$$

где је:

L_{10} – ниво буке који је премашен у 10 % посматраног временског интервала [dBA] и
 q – проток возила [voz/h].

Основни ниво буке у периоду од 18 h се може предвидети на растојању од 10 m од најближе ивице коловоза захваљујући следећем изразу:

$$L_{10}(18h) = 29,1 + 10 \log(q), \quad (3.17)$$

Код оба ова израза (3.16 и 3.17) се полази од претпоставке да је просечна брзина тока 75 km/h, проценат теретних возила у току је $P = 0 \%$ и нагиб пута је $G = 0 \%$. Такође, се претпоставља да је у питању линијски извор буке удаљен 3,5 m од ивице коловоза [39].

Овако добијени ниво буке се коригује узимајући у обзир брзину тока, процентуално учешће теретних возила као и утицај нагиба пута. Утицај брзине тока и теретних возила на ниво буке се може дефинисати коришћењем следећег израза:

$$\Delta_{pV} = 10 \log \left(V + 40 + \frac{500}{V} \right) + 10 \log \left(1 + \frac{5P}{V} \right) - 68,8, \quad (3.18)$$

где је:

Δ_{pV} – корекција нивоа буке у зависности од брзине тока и процента теретних возила [dBA],
 V – просечна брзина возила која зависи од врсте пута [km/h] и
 P – проценат учешћа теретних возила у току [%].

Процент учешћа теретних возила у саобраћајном току је могуће одредити коришћењем израза:

$$P = \frac{100f}{q} = \frac{100F}{Q}, \quad (3.19)$$

где је:

- P – проценат учешћа теретних возила у току [%].
- f – часовни проток теретних возила [voz/h],
- q – часовни проток возила [voz/h],
- F – проток теретних возила у 18 h интервалу [voz/h] и
- Q – проток возила у 18 h интервалу [voz/h].

Вредност брзине која се узима у изразу (3.18) зависи од нагиба пута. У зависности од нагиба пута брзина тока ће бити умањена за ΔV која се може предвидети и израчунати изразом:

$$\Delta V = \left[0,73 + \left(2,3 - \frac{1,15p}{100} \right) \frac{p}{100} \right] G, \quad (3.20)$$

где је:

- ΔV – корекција брзине возила у саобраћајном току у зависности од нагиба пута и процента теретних возила [km/h],
- p – проценат учешћа теретних возила у току [%] и
- G – нагиб пута изражен у [%].

Ако је брзина тока позната ниво буке може бити подешен захваљујући додатној буци која се појављује захваљујући постојању самог нагиба кроз израз:

$$\Delta_G = 0,3G, \quad (3.21)$$

где је:

- Δ_G – корекција буке у зависности од нагиба пуата [dBA].

Ниво буке такође, зависи и од врсте коловозног застора. Ако су у питању непропустљиве коловозне површине и где су брзине саобраћајног тока које се користе у изразу (3.18) $V = 75$ km/h, корекције основног нивоа буке се могу дефинисати изразима:

- за коловозе са бетонским застором:

$$\Delta_{TD} = 10 \log(90TD + 30) - 20, \quad (3.22)$$

- за коловозе са битуминозним застором:

$$\Delta_{TD} = 10 \log(20TD + 60) - 20, \quad (3.23)$$

где је:

- Δ_{TD} – корекција буке због утицаја дубине текстуре коловоза [dBA] и
- TD – дубина текстуре коловоза [mm].

У случају када је брзина тока која се користи у изразу (3.18) $V < 75$ km/h тада су корекције:

– за коловозе са непропустљивим битуминозним застором:

$$\Delta_{TD} = -1, \quad (3.24)$$

– за коловозе са пропустљивим застором:

$$\Delta_{TD} = -3,5. \quad (3.25)$$

Модел такође, дозвољава могућност корекције када је тачка пријема лоцирана на удаљености $> 4,0$ m од најближе ивице коловоза кроз израз:

$$\Delta_d = -10 \log \left(\frac{d'}{13,5} \right), \quad (3.26)$$

где је:

Δ_d – корекција буке због утицаја растојања од извора буке дотачке пријема [dBA] и

d' – најкраће растојање између извора буке и тачке пријема [m].

Последња корекција је везана за препреке приликом простирања звучних таласа као што су нпр. природа подлоге која се налази између ивице коловоза и тачке имисије (трава, обрађене земљане површине и тд.) или постојање зграда, зидова разних баријера и тд.

3.1.3.2. Немачки стандард: RLS 90 модел

Приручнику за заштиту од буке на улицама (*RLS - Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen*) [40], представља RLS 90 модел као побољшање постојећег стандардног модела RLS 81. Модел RLS 90 је прорачунска метода која је у стању да на ефективан начин утврди ниво саобраћајне буке, у конкретним условима и као таква је једана од релевантних прорачунских метода која се користи у Немачкој. Податке које захтева овај модел су:

- часовни проток возила,
- структуру тока подељену на моторцикле, лака и тешка возила,
- просечне брзине сваке од ових група,
- димензије, геометрију и тип пута и
- тип и врсте вештачких или природних препрека.

Овај модел такође, узима у обзир и главне карактеристике које утичу на простирање буке као што су на пример препреке, околно растиње и вегетацију, апсорпцију таласа од стране ваздуха, рефракцију и дифракцију. У нарочитим условима је у стању да предвиди и редукцију буке услед постојања баријера и узима у обзир и рефлексију која настаје одбијањем звучних таласа са објеката који се налазе на супротној страни у односу на тачку мерења. Ово је један од ретких модела који је представљен у литератури а који је у стању да процени емисију буке и паркиралишта. Иначе представља један од највише коришћених модела за предикцију буке.

Полазна тачка прорачуна је просечан ниво буке (L_{mE}) на растојању од 25 m мерено од центра саобраћајне траке. Овако измерени просечни ниво буке ($L_{mE}^{(25)}$) је у функцији количине или броја возила која прођу посматрану тачку за 1 h, процента тешких возила (тежине веће од 2,8 t)

под идеалним условима (брзина $V=100$ km/h, нагиб пута испод 5 % и одговарајуће коловозне површине. Израз којим се дефинише овај просечан ниво буке је дат као [29]:

$$L_{m,E}^{(25)} = 37,3 + 10 \log [Q(1 + 0,082P)], \quad (3.27)$$

где је:

$L_{m,E}^{(25)}$ – просечан ниво буке на растојању од 25 m [dBA],

Q – проток возила [voz/h] и

P – проценат учешћа теретних возила у саобраћајном току [%].

Следећи корак је квантификација различитих идеализованих услова кроз корекцију идеалне брзине и превођење на „стварну“, корекцију нагиба пута, врсте коловозне површине и тд. Ове корекције зависе пре свега од доба дана када се корекције раде, за дневне услове се подразумева период од 06 h до 22 h а за ноћне услове од 22 h до 06 h. Уважавајући дефинисане корекције просечан ниво буке L_m сваке саобраћајне траке могуће је израчунати на основу израза [40]:

$$L_m = L_m^{(25)} + R_{SL} + R_{RS} + R_{RF} + R_E + R_{DA} + R_{GA} + R_{TB}, \quad (3.28)$$

где је:

L_m – просечан ниво буке саобраћајне траке [dBA],

R_{RF} – корекција утицаја валовитости коловоза [dBA],

R_E – корекција утицаја карактеристика апсорпције звука од стране фасада зграда [dBA],

R_{DA} – корекција утицаја слабљења звука која узима у обзир растојање до места мерења и апсорпције звука од стране ваздуха [dBA],

R_{GA} – корекција утицаја слабљења која узима у обзир стање и врсту околног тла и атмосферских прилика [dBA],

R_{TB} – корекција утицаја слабљења која узима у обзир топографију и димензије околних зграда [dBA],

R_{SL} – корекција утицаја ограничења брзине [dBA] и

R_{RS} – корекција утицаја коловозне површине [dBA].

Корекција утицаја коловозне површине је обично дата табеларно и зависи од врсте коловозне површине и брзине возила. Креће се у границама од 0 dBA до 6 dBA. Такође, може бити израчуната и на основу нагиба пута и то:

$$R_{RS} = 0,6|g| - 3 \quad \text{за } |g| > 5\%, \quad (3.29)$$

$$R_{RS} = 0 \quad \text{за } |g| \leq 5\%, \quad (3.30)$$

где је:

g – нагиб коловоза [%].

Корекција утицаја ограничења брзине R_{SL} се може дефинисати изразом:

$$R_{SL} = L_{P_{kw}} - 37,3 + 10 \log \left(\frac{100 + (10^{0,1D} - 1)P}{100 + 8,23P} \right), \quad (3.31)$$

при чему је:

$$L_{P_{kw}} = 27,7 + 10 \log \left[1 + (0,02V_{P_{kw}})^3 \right], \quad (3.32)$$

$$L_{L_{kw}} = 23,1 + 12,5 \log V_{L_{kw}}, \quad (3.33)$$

$$D = L_{L_{kw}} - L_{P_{kw}} \quad (3.34)$$

где је:

$V_{P_{kw}}$ – ограничење брзине у опсегу од 30 km/h до 130 km/h за лака возила [km/h] и

$V_{L_{kw}}$ – ограничење брзине у опсегу од 30 km/h до 80 km/h за тешка возила [km/h].

Процењујући ниво просечне буке ($L_{mE}^{(25)}$) за сваку траку посебно на начин који је описан, може се дефинисати израз:

$$L_m = 10 \log \left[10^{0,1L_{m,n}} + 10^{0,1L_{m,f}} \right], \quad (3.35)$$

где:

n – представља најближу саобраћајну траку и

f – представља најудаљенију саобраћајну траку.

На крају се може написати да је ниво буке за посматрану улицу:

$$L_r = L_m + K, \quad (3.36)$$

где је:

L_r – укупан ниво буке за посматрану саобраћајницу [dBA] и

K – додатна корекција нивоа буке због утицаја семафорисаних или других раскрсница [dBA].

3.1.3.3. Италијански C.N.R. модел

Италијанско законодавство за сада не препоручује ни један модел за израчунавање и предикцију саобраћајне буке, али највише коришћени и заступљен модел који се користи је модел развијен од стране „Cosiglio Nazionale delle Ricerche“ (CRN) који је унапређен од стране Cocchi et al. Овај модел представља модификацију немачког модела RLS 90 који је прилагођен италијанској мрежи. Релације између саобраћајних параметара и еквивалентног нивоа буке су претпостављени, а саобраћајни ток је дефинисан као линеарни извор који је смештен у средини пута. Тако да се еквивалентни ниво буке може дефинисати изразом [3]:

$$L_{Aeq} = \alpha + 10 \log(Q_L + \beta Q_P) - 10 \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + \Delta L_V + \Delta L_F + \Delta L_B + \Delta L_S + \Delta L_G + \Delta L_{VB}, \quad (3.37)$$

где је:

L_{Aeq} – еквивалентни ниво буке [dBA],

Q_P – проток лаких возила [voz/h],

Q_L – проток тешких возила [voz/h],

d_0 – референтна удаљеност од 25 m,

d – удаљеност између средине саобраћајне траке и тачке посматрања [m],

ΔL_v – корекција буке у зависности од просечне брзине према табели 3.1, ΔL_F – корекција буке у зависности од рефлективности фасаде непосредно иза тачке мерења (+2,5 dBA),

ΔL_B – корекција буке у зависности од рефлективности фасаде насупрот тачке мерења (+1,5 dBA),

ΔL_S – корекција буке у зависности од врсте коловозне површине дефинисано на основу табеле 3.2, ΔL_G – корекција буке у зависности од нагиба коловоза већег од 5 %.

Корекција нивоа буке је дефинисана за сваки наредни проценат нагиба изнад 5 % за $\Delta L_G = + 0,6$ dBA и

ΔL_{VB} – корекција буке у зависности од присутности семафора, семафорисаних раскрсница (+ 1,0 dBA) или спорог саобраћаја (- 1,5 dBA).

Табела 3.1. Корекција буке у зависности од просечне брзине [3]

Просечна брзина [km/h]	ΔL_v [dBA]
30-50	+0
60	+1
70	+2
80	+3
100	+4

Табела 3.2. Корекција буке у зависности од врсте коловозне површине [3]

Врста коловозне површине	ΔL_S [dBA]
Гладак - фин асфалт	-0,5
Груб асфалт	0
Цемент	+1,5
Груби плочник - макадам	+4

Треба имати на уму да сви приказани корекциони фактори и параметри иако имају своје валидне вредности имају и своје варијације које зависе од региона до региона а нарочито од земље до земље. У том смислу фактори α и β у изразу 3.37 су фактори који узимају у обзир карактеристике земље и типова возила. α фактор је фактор који је везан за емисију појединачног возила а β фактор је тежински фактор који узима у обзир емисију буке од стране тешких возила (за италијанске фреквентне путева се узима $\alpha=35,1$ и $\beta = 6$).

3.1.3.4. Француски модел: NMPB Routs

Модел „*Nouvelle Methode de Prevision de Bruit*“ или једноставније NMPB – Routs – 96, је модел који је инкорпориран у Француски стандард. Овај модел је развијен од стране различитих француских института (*CSTB-Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, SETRA - Security and Efficiency in Transportation*) и представља побољшање постојећег модела који је дефинисан у „*Guide de Bruit*“ 1980. године. Данас он представља један од најзаступљенијих метода за предикцију саобраћајне буке који је искоришћен у неким комерцијалним софтверским решењима као што је *CanadA™ by 01dB*.

Године 2000. на захтев SETRA започета је ревизија модела NMPB – Routs – 96 и развијен је нови модел NMPB – Routs – 2008. Овај модел је заснован на концепту анализе пута простирања звучних таласа. Упркос претходним моделима, NMPB – Routs – 2008 узима у обзир стандардне метеоролошке услове, како је предложено стандардом ISO 9613. Метеоролошки услови су класификовани у две групе: метеоролошки услови који су повољни за простирање таласа и хомогени акустични услови. Неколико путева преноса је могуће да постоји између извора и места имисије у зависности од топографије терена и препрека и сваком од њих је могуће доделити одређени ниво звука $L_{A_i,LT}$. Модел предвиђа за сваки извор-пријемник путању звука у две фазе. Прва фаза обрачунава ниво звука у тачки пријема у условима који су повољни за простирање звучних таласа. Друга фаза калкулација обезбеђује обрачун нивоа звука у хомогеним акустичним условима. Збир нивоа у повољним и хомогеним условима одређује вероватноћу повољних услова. Ниво буке $L_{A_i,LT}$ за сваки пут се може проценити на основу вероватноће појављивања ова два услова преко израза [6, 29]:

$$L_{A_i,LT} = 10 \log(p_i 10^{0,1L_{A_i,F}} + (1 - p_i) 10^{0,1L_{A_i,H}}), \quad (3.38)$$

где је:

$L_{A_i,LT}$ – ниво буке за одговарајући пут преноса [dBA],

$L_{A_i,F}, L_{A_i,H}$ – глобални процењени нивои буке за повољне и хомогене услове [dBA] и

p_i – вероватноћа појављивања повољних услова.

Ови нивои се прорачунавају за сваки октавни опсег и за сваки могући пут од извора до пријемника на основу следећих израза:

$$L_{A,F} = L_{A,w} - A_{div} - A_{atm} - A_{grd,F} - A_{dif,F}, \quad (3.39)$$

$$L_{A,H} = L_{A,w} - A_{div} - A_{atm} - A_{grd,H} - A_{dif,H}, \quad (3.40)$$

где је:

$L_{A,w}$ – ниво еквивалентне вредности буке у [dBA],

A_{div} – корекција слабљења услед геометријског ширења таласа [dBA],

A_{atm} – корекција слабљења услед апсорпције у ваздуху [dBA],

A_{grd} – корекција слабљења услед стања тла [dBA] и

A_{dif} – корекција слабљења услед дифракције [dBA].

Ниво еквивалентне буке се утврђује на основу израза:

$$L_{A,w_i} = [(E_L + 10\log Q_L) + (E_P + 10\log Q_P)] + 20 + 10\log(I_i) + R(j), \quad (3.41)$$

где је:

Q_L – часовни проток лаких возила [voz/h],

Q_P – часовни проток тешких возила [voz/h],

E_L – емисиони ниво лаких возила [dBA],

E_P – емисиони ниво тешких возила [dBA],

I_i – дужина сегмента пута на коме се утврђује бука [m] и

$R(j)$ – вредност нормализованог спектра према CEN 1793-3 који узима у обзир фреквентно понашање приликом простирања звука.

Европска Директива 2002/49/EC [60] је дала предлог да се овај тип модела користи као званични модел за предикцију буке у земљама Европске Уније. Такође, се за овај модел може рећи да представља један од релативно сложених модела за који је неопходно имати одговарајући софтвер. Његова предикција буке такође, доста зависи од корекционих фактора који на одређени начин калибришу сам модел доводећи га у зону прихватљивих резултата. Може се рећи да му је један од основних недостатак недовољно анализирање утицаја саме структуре саобраћаја на ниво емитоване буке.

3.1.3.5. Амерички модел: FHWA

Амерички модел за предикцију саобраћајне буке FHWA (*FHWA- Federal Highway Administration*) је емпиријски модел који је дефинисан 1978. године и представљен као модел FHWA-RD-77-108. Он се базира на предикцији саобраћајне буке и то еквивалентне вредности буке на основу референтне емисије појединих категорија возила уз одговарајуће корекције везане за саобраћајни ток, растојање мерења у односу на пут, постојање звучних баријера, апсорције тла и тд. FHWA модел користи три категорије возила да би описао структуру саобраћајног тока:

- аутомобиле – возила са две осовине и четири точка,
- средње камионе – возила са две осовине и више од четири точка и
- тешке камионе – возила са више од две осовине.

Овај модел је до данас доживео разне корекције и то највише у погледу дефинисања референтних емисионих вредности појединих категорија возила и то од првобитно дефинисаних номограма за одређивање ове вредности до развоја одређених софтверских решења. Основна једначина од које се полази у оквиру овог модела је дата изразом [13]:

$$L_{eq}(h)_i = \bar{L}_o E_i + 10\log\left(\frac{N_i D_o}{S_i T}\right) + 10\log\left(\frac{D_o}{D}\right)^{1+\alpha} + 10\log\left(\frac{\psi\alpha(\phi_1, \phi_2)}{\pi}\right) + \Delta_s, \quad (3.42)$$

где је:

$\overline{L_{eq}}(h)_i$ – еквивалентни ниво буке на часовном нивоу возила класе i [dBA],

$\overline{L_o}E_i$ – референтни енергетски ниво емисије буке возила класе i [dBA],

N_i – број возила у периоду од једног сата који прођу кроз попречни пресек пута класе i [voz/h],

D – растојање од средине саобраћајне траке до места емисије [m],

D_o – референтно растојање при коме је вршено мерење референтног нивоа емисије буке возила класе i , $D_o=15$ m,

S_i – просечна брзина возила класе i [km/h],

T – временски интервал у оквиру кога је анализиран ниво еквивалентне буке [h],

α – параметар околног терена који зависи од стања терена, $\alpha=0$ за тврде терене, $\alpha=0,5$ за меке терене,

ψ, Φ – функције које се користе за корекције дужине сегмента пута на коме се утврђује бука и

Δ_s – слабљење буке изазвано неком од звучних препрека [dBA].

Референтни енергетски ниво буке појединих категорија возила који се користи у моделу је успостављен још 1978. године. Истраживање овог феномена је спроведено у оквиру четири Америчке државе и на основу тога је дефинисан REMEL (*REMEL-Reference energy mean emission levels*). REMEL дефинише ниво еквивалентне буке коју генерише возило у пролазу мерено на висини од 1,5 m и на растојању 15 m од пута мерено у односу на централну линију кретања возила. Модел REMEL практично дефинише регресионе криве за поједине категорије возила које на основу брзине кретања возила одређују ниво еквивалентне буке сходно изразима:

- за аутомобиле:

$$\overline{(L_o)}E_A = 38,1 \log(S) - 2,4, \quad (3.43)$$

- за средње камионе

$$\overline{(L_o)}E_{MT} = 33,9 \log(S) + 16,4, \quad (3.44)$$

- за тешке камионе

$$\overline{(L_o)}E_{HT} = 24,6 \log(S) + 38,5, \quad (3.45)$$

где је:

S – просечна брзина кретања [km/h].

Анализирајући сам модел посебно основну једначину модела сасвим је јасно да се модел у великој мери ослања на корекционе факторе и да прецизност самог модела лежи у правилном избору корекционих фактора. Добра страна модела лежи у томе да је ово један од ретких модела који полази од појединачног возила као извора буке и то његове енергетске вредности буке. На основу тога се може рећи да нешто детаљније залази у саму структуру саобраћајног тока у односу на друге приказане моделе.

4. ИНДЕНТИФИКАЦИЈА УЛАЗНИХ ПАРАМЕТАРА И ЊИХОВА ВЕЗА СА НИВООМ САОБРАЋАЈНЕ БУКЕ

У већини земаља у свету данас постоје различити прописи у циљу дефинисања максимално дозвољених нивоа емисије буке возила, како унутрашње буке возила тако и дозвољене емисије буке у урбаним зонама. Развојем нових возила постоји јасна тенденција смањивања нивоа емитоване буке возила и може се рећи да возила постају „тиша“. Међутим, концепт смањивања буке на извору има одговарајуће резултате али само када већи део постојеће флоте возила буде замењен новим возилима, што је оствариво пре свега у дужем временском периоду од пар година до неколико десетина година. Занављање флоте возила захтева пре свега јасну политику усмерено ка овом правцу и довољно развијену економију која би овај концепт могла да испрати. Истраживња која су вршена у Нордијским земљама су показала да се у периоду од десетак година ниво саобраћајне буке смањило за око 1,5 dBA иако су за то време стандарди у погледу дозвољене емисије буке значајно поштрени [41]. Трагање за решењем које ће разматрати само смањење буке на извору не може дати очекиване резултате у кратком временском периоду. Решење ипак треба тражити и на страни других потенцијалних мера за снижавање буке која се огледају пре свега кроз другачији приступ урбаног планирања, кроз одговарајуће акустично зонирање грађевинског земљишта, постављање звучних баријера у зонама саобраћајница са интензивним саобраћајем, пројектовање и уградња одговарајуће звучне изолације на стамбеним објектима и тд. Оваква решења могу ићи у ону крајњу могућност која подразумева потпуну или пак делимичну забрану одвијања саобраћаја. Трагање за одговарајућим решењем ипак не треба тражити у забрани или смањењу обима саобраћаја јер то пре свега није друштвено оправдано, већ пре свега у његовом оптималном управљању. Критеријуми оптималног управљања саобраћајем могу бити разнолики (најмање време путовања, највиши ниво услуге, висока безбедност и тд.) али је до сада бар када су у питању наши услови ниво емитоване буке није анализиран као један од

критеријума оптималности. За оптимално дефинисање ниво емитоване буке настале од саобраћајног тока треба познавати каква је веза између ниво тако емитоване буке и параметра који описују саобраћајни ток. Ради јасног разумевања саобраћајне буке примарно настале од друмског саобраћаја неопходно је дефинисати најутицајније параметре за квантитативно одређивање буке као и методе анализе за утврђивање тачних релација између ових параметара и саме буке [9, 42]. Предвиђање нивоа буке у тачки пријема се може анализирати у два правца. Први правац подразумева возило као извор буке који се састоји од више различитих извора буке. Сваки извор буке на возилу има одређену звучну снагу и свој положај на возилу [43, 44]. Овде је неопходно узети у разматрање и односе који се појављују између брзине возила и извора буке, на пример бука пнеуматика или аеродинамичка бука возила. Други правац подразумева анализу параметара и карактеристике саобраћајног тока са аспекта генерисања буке [30, 31]. Буку коју производи саобраћајни ток обухвата емисију буке појединачних возила који се крећу по неким правилима саобраћајног тока. На основу реално анализираних услова саобраћајног тока на посматраној саобраћајници, могу се створити услови за сагледавање утицајних параметара на ниво буке. На основу тога је могуће створити довољно јаке аргументе за дефинисање улазних података у одређени модел у циљу предвиђања нивоа буке. За анализу буке саобраћаја неопходно је размотрити два аспекта емисије буке:

1. буку коју емитује појединачно возило у функцији радних параметара и брзине кретања и
2. буку коју емитује саобраћајни ток састављен од таквих возила

За детаљнију анализу саобраћајне буке је неопходно је посматрати возило као извор појединачне буке и саобраћајни ток као укупни извор буке на посматраној локацији.

4.1. Возило као извор буке

Бука моторног возила је резултат великог броја рада уређаја и система од којих сваки производи буку мањег или већег интензитета. Бука као физички феномен код аутомобила настаје као резултат ударних и осцилаторних процеса у елементима, склоповима и уређајима који се налазе на возилу. Основи узроци појаве вибрација и буке код возила се могу сврстати у четири групе [44, 45]:

- конструкциони параметри,
- технолошки параметри,
- радни процеси и
- технологија одржавања.

Обзиром на разноликост врста бука код моторног возила, као последица не постоји једноставна релација која открива који извори су одговорни за измерени ниво буке. Количина буке која долази из неког од ових извора је стохастичка величина и зависи од случаја до случаја.

Возила се разликују једна од других. То практично значи да бука која се генерише од стране појединачног возила је у функцији неколико различитих параметара као што су:

- тип, марка и година старости возила,
- стање издувнг система и услови рада,
- стање система за ослањање,
- стање и тип коловозног застора,
- врста, облик, димензије и радни притисак пнеуматика,
- климатски и временски услови,
- оптерећење возила,
- мотивисаност и обученост возача за вожњу,
- психофизичко стање возача, пол, узраст и возачки стаж и тд.

Модел за предвиђање индивидуалних извора буке као функције различитих параметара развијани су у оквиру пројекта Европске Уније под називом *IMAGINE (IMAGINE - Improved Methods for the Assessment for the Generic Impact of Noise in the Environment)* [46]. Међутим, чак и ови модели се усредсређују на просечно понашање групе возила и не могу се искористити за предвиђање буке коју стварају појединачна возила у одређеним околностима без додатних корекција.

Примарни извори буке код моторног возила се могу условно поделити на следеће целине [44, 45]:

1. Мотор, трансмисија и издувни систем (доминантни при малим и средњим брзинама),
2. Аеродинамика возила (доминантно при средњим и великим брзинама),
3. Систем пнеуматици-коловоз и систем ослањања, (доминантни при средњим и великим брзинама).

Ова три примарна извора се разликују по сложеној зависности снаге извора и карактеристика извора, као и од оптерећености и брзине возила. До средине осамдесетих прва два извора буке су била доминантна. Међутим, као последица сталног унапређења возила аеродинамика возила, мотор и издувни система постају све мање значајни са аспекта емитовања буке. Ради анализирања овог проблема, неопходно је дефинисати које врсте буке се могу издвојити као доминантни, како би свака врста од њих могла посебно да се размотри. Бука код возила се може сврстати у следеће врсте буке:

- бука мотора,
- бука трансмисије,
- бука усисног система,
- бука издувног система,
- аеродинамичка бука,
- бука пнеуматика и
- бука кочница.

4.1.1. Погонски систем као генератор буке

У укупном нивоу буке погонског агрегата и код теретних и путничких возила највећи удео има бука мотора око 40 % [45]. Постоје два основна узрока настајање буке код мотора а то су: процес сагоревања и механички процеси у мотору. У току сагоревања у цилиндру мотора стварају се велике вредности силе (и момената) притисака гасова које побуђују све делове са којима су у контакту. Да би се делови међусобно кретали неопходно је постојање зазора. Они проузрокују механичке ударе моторних делова током рада (вентилски механизам, и тд.).

Уопште главни извори вибрација и буке на погонском агрегату се могу поделити на [45, 47]:

1. буку струјања (директна бука или аеродинамичка бука),
 - бука издувавања,
 - бука усисавања,
 - систем хлађења (са вентилатором, пумпама и сл.),
2. буку створену вибрирањем делова мотора (индиректна бука),
3. вибрације издувног система; бука створена вибрирањем делова каросерије-услед поремећаја од мотора, пренетих преко ослонаца мотора.

Ако би хтели да стално растућу буку смањимо у кратком периоду највероватније би то било могуће само смањењем снаге мотора. У исто време све строжи захтеви у вези са емисијом издувних гасова захтевају теже и гласније процесе сагоревања. Да би се овом захтеву изашло у сусрет јако пуно је урађено у унапређењу мотора. Као прво сва емисија буке самог мотора је смањена на минимум структуралним побољшањима. Као друго простор где је мотор смештен је максимално затворен и изолован како према спољној средини тако и према кабини возила [45].

4.1.2. Бука сагоревања

Најбучнији мотори данас су дизел мотори због чињенице да имају већу компресију и сагоревање од бензинских мотора. Виши притисци код дизел мотора стварају већу буку сагоревања на нижим учестаностима. Оптималним вођењем процеса сагоревања, код дизел мотора са директним убризгавањем, могуће је снизити општи ниво буке. Убризгавањем мале количине горива, пре основне, стварамо повољне услове за процес самоупаљења и сагоревања основне количине горива. Тада је процес самоупаљења краћи а рад мотора мекши. Зато су максимални пораст притиска и сам максимални притисак мањи [45].

Такође, су и материјали којима је обложен простор за мотор доведени до високог нивоа апсорбовања буке а све у циљу смањења буке дизел мотора. Насупрот томе у данашњим аутомобилима постоје отвори који не смеју бити затворени, као што су отвори за хлађење мотора. Данас је присутан тренд коришћења делова мотора као што су компресори и турбине у циљу смањења потрошње горива и смањења величине мотора. Ови уређаји су такође, генератори буке и морају се оптимизовати. Мањи мотори са већом снагом су потенцијално већи генератори буке јер раде на већем броју обртаја него мотори мотори са већом запремином [45].

4.1.3. Механичка бука мотора

Механичка бука мотора је последица 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 ударања клипа о зид цилиндра је посебно изражена код незагрејаних мотора. Њен ниво опада са загревањем мотора и смањењем зазора клип-цилиндар. Коленасто вратило у највећем делу радног процеса плива на филму уља. Међутим, максимуми сила притисака гасова доводе до удара рукавца о филм уља и радикалног 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 [45].

Удари брега, при отварању вентила, и самог вентила при седању 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, утиче се на смањење буке. Како вентил својом масом учествује у вредности импулса удара при отварању и затварању сигурно треба пројектовати вентила са мањом масом [45].

4.1.4. Бука усисавања и издувавања

Усисна и издувна бука су углавном одређене перформансама мотора. Углавном их је могуће контролисати пригушивачима (реактивни пригушивачи у облику експанзионих судова) који имају улогу да смање буку без смањивања перформанси мотора а захваљујући паду притиска створеног због смањења протока ових пригушивача.

Бука усисавања је аеродинамичког порекла. Настаје због: осциловања притиска у усисном систему, стварања вртлога при оптицању препрека на које ваздух наилази, при кретању кроз систем (вентили, седишта,...) и турбуленције ваздуха у граничним слојевима [45].

Бука издувавања је последица турбулентног струјања гаса у издувном систему и истицања у околину. Ова бука се снижава одговарајућим избором пригушивача и 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 доводе до интерференцију звучних таласа. Смањење нивоа буке је сразмерно запремини пригушивача. Потребна запремина пригушивача дефинисана је на основу потребног нивоа смањења буке као и на основу максимално дозвољеног пада притиска у систему. Како је чињеница да се данас аутомобили праве на систему платформи, тешко је додатно увећати запремину у издувном систему јер би за то била потребна нова платформа пода аутомобила [45].

4.1.5. Бука система за хлађење

Рад 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) и тд. Бука коју генерише вентилатор је таквог фреквентног садржаја који је близак резонантним учестаностима путничког простора, што може бити извор додатних проблема.

Имајући у виду испред изнете анализе могу се навести мере за смањење општег нивоа буке моторног возила мерене по тест методи ISO R 362 [45] :

- усавршавањем-реконструкцијом мотора и његових система могуће смањење нивоа буке је 3 dBA до 5 dBA,
- делимичним облагањем мотора звучно изолационим материјалима могуће је остварити смањење буке до 3 dBA,
- смањењем броја обртаја мотора могуће смањење нивоа буке износи до 4 dBA,
- потпуним облагањем мотора и његових система могуће је остварити смањење нивоа буке за 6 dBA до 9 dBA.

Овде увек треба имати на уму да утицај овог извора буке јесте доминантан при малим и средњим брзинама.

4.1.6. Систем пнеуматик-коловоз као генератор буке

Постоје два механизма стварања буке у систему коловоз-пнеуматици: један је везан за структуру пнеуматика и вибрацију, а други је везан за аеродинамичке ефекте. Стварање буке је углавном последица радијалних вибрација структуре пнеуматика као и вибрација бочних страна пнеуматика, углавном на нижим фреквенцијама. Постојање вибрација доводи до тога да се између пнеуматика и пута стварају разне временски зависне силе које се преко система ослањања преносе на каросерију возила, што доводи до поједине компоненте које се налазе у унутрашњости возила вибрирају стварајући на тај начин буку унутар возила. Структура вибрација које се преносе са пута на унутрашњост возила је веома значајна са аспекта анализе стварања буке и вибрација у путничком простору, али је веома тешко проценити утицај оваквих вибрација на генерисање буке која се емитује у околину.

Промене контактних сила током времена могу довести до различитих ефеката: нехомогености и дефекта структуре пнеуматика, протектора пнеуматика, као и процеса у контакту пнеуматика са подлогом под називима „stick-slip“ и „stick-snap“. У првом случају, тангенцијалне и радијалне силе воде до стварања фрикционих механизма које доводе до ефекта „stick-slip“ када су шаре на пнеуматима у контакту са подлогом пута. У другом случају када су шаре пнеуматика на путу да се одвоје од подлоге, неке адхезивне силе ће настојати да их задрже у контакту са подлогом пута. У том моменту се јавља „stick-snap“ ефекат [48, 49]. Који ће од ових механизма бити доминантан на којим фреквенцијама није увек лако предвидети. Може се очекивати да

вибрације пнеуматика буду најзаступљеније на фреквенцијама испод 1000 Hz. Широки распон и сложеност различитих комбинација пнеуматик-коловоз нам отежава налажење одговора.

Разноврсност механизма за стварање буке код система пнеуматик-коловоз отежава стварање модела за решавање проблема код оваквог извора буке. Истраживања вршена осамдесетих година у Белгији и Шведској, показала су да постоји релативно добра сагласност између критичне таласне дужине, која је главни изазивач нискофреквентне буке пнеуматика, и опсега таласних дужина на којима се јављају максималне наизменичне деформације пнеуматика [48, 49]. Сматра се да је ово снажан аргумент у прилог хипотези да су радијалне вибрације пнеуматика главни извор нискофреквентне буке на контакту пнеуматика и коловоза. На нижим фреквенцијама побудне вибрације пнеуматика не емитују значајнији ниво звучног притиска међутим, на вишим фреквенцијама долази до генерисања буке, тако да на саобраћајницама са коловозним застором од ситне камене коцке, вибрирање пнеуматика може подићи укупни ниво буке и за 9 dBA. Може се рећи да постоји генерално мишљење да стварање буке највише зависи од вибрирања структуре пнеуматика. Ситуација се додатно усложњава када се у обзир узме и аеродинамика пнеуматика [44].

Постоји такође, и мишљење да у току кретања пнеуматика, долази до ефекта „air pumping“ које се јавља као последица истискивања ваздуха из шупљина профила протектора при ступању у контакт са подлогом и истовременог враћања ваздуха у шупљине при подизању дезена протектора са подлоге. Hayden је 1971. године представио свој модел стварања буке код система пнеуматик-коловоз који се заснивао на томе да почетни део шаре када ступи у контакт са подлогом истискује ваздух а сам бива компримован и као такав продире у површину пута [48]. Када се задњи део шаре одваја од пута, шара бива декомпресована и као последица тога јавља се усисавање ваздуха који јури да попуни празнину декомпресије. У Немачком пројекту „Sperenberg“, овај вид стварања буке детаљно је истраживан за разне комбинације пнеуматик-коловоз. За већи број ових комбинација, али не за све, брзине је (промена амплитуде притиска звука у функцији од брзине вожње) главни разлог ефекта „air pumping“ [48]. На уобичајеним коловозним површинама, са просечном дужином текстуре мањом од 5 mm, односно мањом таласном дужином профила, високофреквентна бука пнеуматика постаје доминантна. Ово је последица ефекта " air pumping-a" који се повећава са смањењем таласне дужине профила испод критичне вредности. Поједини аутори истичу значај микротекстуре и адхезије, при чему површини са већим коефицијентом трења одговара већа емисија високофреквентне буке пнеуматика, док је процес перманентног тангенцијалног проклизавања и пријањања пнеуматика у односу на коловоз од најмањег значаја за емитовање високофреквентне буке.

Међутим, како тачно ефекат „air pumping“ функционише може се објаснити на више различитих начина, који су сви тачни у појединим деловима, тако да ни један од њих не може дати потпун одговор. Нека истраживања су вршена на глатким пнеуматима које прелазе преко неравнина на површини пута. Мерен је притисак у цилиндричним неравнинама пута различитих величина, када преко њих пређе пнеуматик. Притисак у неравнинама се рапидно повећава како

пнеуматик наилази на неравнину и остаје висок све док је пнеуматик на неравнини. Акустична мерења не показују никакав звук у овој фази. Када неравнина почиње да се отвара притисак почиње да осцилује и да нестаје у зависности од димензије неравнине [48, 50]. Значајну улогу у емисији буке пнеуматика игра и степен влажности коловозне површине, иако се не сврстава међу основне механизме за генерисање буке пнеуматик-коловоз. Ова врста побуде изазива повећање звучног притиска на фреквенцијама изнад 1000 Hz, тако да ниво буке може да порасте за 7 dBA за време обилне кише. Посебан проблем представља дефинисање доминантног механизма за генерисање буке настале као последица интеракције између сувог коловоза и пнеуматика [48, 51].

Како генерисање буке у зони контакта коловоз-пнеуматици зависи од мноштва фактора као што су: конструкција пнеуматика, карактеристика коловозне површине, брзине возила и тд., на тренутном нивоу сазнања из ове области нема генералног и једноставног опште прихваћеног става. Често коришћена чињеница „интеракција пнеуматик-коловоз је доминантни извор буке при брзинама већим од 30 km/h за лакша возила и изнад 70 km/h за тежа возила“ је исправна када посматрамо просечне услове, али не важи за бучна возила и за тиху подлогу на путевима [52].

Последњих година модели за предикцију буке се развијају тако да предвиђају буку у саобраћају у типичним релним ситуацијама, при чему се текстура коловоза све више узима као корекциони фактор у самом моделу. Истовремено утицај подлоге пута на буку у саобраћају може да варира у зависности од различитих случајних величина као на пример различите врсте пнеуматика које се користе на возилима и који могу да емитују већу или мању буку за неколико dBA.

4.1.7. Аеродинамичка бука

При кретању аутомобила ваздух формира око каросерије возила струјнице одређеног облика, поља брзина и притиска. На контактним површинама каросерије и струје ваздуха формирају се одговарајући гранични слојеви у којима су адхезионе силе утицале на расподелу брзина струјања ваздуха а тиме и на режим струјања у тим зонама. Возило својим присуством у струји ваздуха утиче на правце, брзину и слику струјних токова. Отпор ваздуха приликом кретања моторног возила настаје услед [47]:

- нормалних сила које су последица разлике притисака у предњем и задњем делу аутомобила,
- тангенцијалних сила које настају услед прилепљивања честица ваздуха за површине аутомобила,
- постојања прекидних зона (дисконтинуитета) у односу на основни облик аутомобила и
- прострујавања ваздуха кроз систем за хлађење мотора и систем за климатизацију путничког простора.

Отпор ваздуха се може смањити деловањем на чеону површину и коефицијент отпора ваздуха. Смањење чеоне површине аутомобила доводи до смањена отпора ваздуха, а ова интервенција има читав низ ограничења, посебно ако се има у виду намена аутомобила и удобност

смештаја путника. Облик каросерије утиче подједнако и на коефицијент отпора ваздуха и на аеродинамичку буку. Угао ветробранског стакла показује значајан удео у укупном отпору ваздуха. Мањи углови побољшавају параметре аеродинамике, али усложњавају конструкцију аутомобила. Канали и стубови у области стакала изазивају појаву додатног отпора ваздуха, посебно при већим брзинама аутомобила. Равније површине у овој области смањују отпор ваздуха и аеродинамичку буку. При већим угловима ветробранског стакла, смањује се брзина струјања ваздуха, али се повећава његов притисак [47].

Подручје испод аутомобила је критично са аспекта аеродинамике, јер се у тој области налазе системи за ослањање, издувни систем и сл. Струјање ваздуха се овде одвија при брзинама које су једнаке нули у нивоу површине пута, а са удаљавањем од ње расту, тако да изазивају отпор ваздуха у области поменутих компонената. Ова компонента отпора ваздуха се може смањити изградом глатког пода каросерије аутомобила. У циљу смањења тежине возила при пројектовању возила се тежи коришћењу што тањих и лакших материјала што за последицу има стварање јачих вибрација појединих елемената возила. Тако при конструкцији крова непостојање ојачања у виду металних ребара има за последицу да при брзинама преко 120 km/h долази до ефекта „лепршања крова“ што ствара интензивну буку унутар возила. Из овога се може закључити да каросерија возила може да створи широки опсег различитих фреквенција које су случајног карактера [53, 54].

Дисконтинуитети који зависе од облика аутомобила представљају додатни извор отпора ваздуха и аеродинамичке буке. Точкови и њихова испупчења представљају доминантни фактор, јер они изазивају турбуленцију и кавитацију. Оштре ивице каросерије усмеравају струјнице ваздуха у велике вртлоге који се даље трансформишу у већи број мањих вртлога. Ниво буке који се ствара на овакав начин је већи него што то генерално ствара сам облик каросерије и има одређенији опсег фреквенција. Постоји снажна тенденција да се оваква вртложења формирају у зонама предњих и задњих ветробранских стубова. Тада се ствара звук високе фреквенције који се преноси у унутрашњост возила преко ветробранског стакла и осталих стаклених површина, као и кроз пренос енергије вибрација преко потпорних стубова у унутрашњост возила. Ово је нарочит случај кад оштре ивице каросерије усмеравају струјнице ваздуха хоризонтално, а точкови настоје да изазову њихову ротацију у вертикалној равни. Проблем је сложенији код управљачких точкова, јер се захвата још већа количина ваздуха, а решење је у добром обликовању простора за точкове. Испитивања су показала да добро обликовање простора за точкове и смањење нивоа пода аутомобила у односу на тло доводи до смањења коефицијента отпора ваздуха а самим тим и до смањења аеродинамичке буке. Такође, су истраживања показала да фреквентни опсег од 60 Hz до 860 Hz генеришу бочна спољна огледала приликом струјања ваздуха [44].

Систем за хлађење мотора изазива појаву дела отпора ваздуха и аеродинамичке буке. Ваздух који пролази кроз хладњак изазива аеродинамичке силе у тој области па се проблем решава минимизацијом улазних отвора за ваздух о чему је било речи раније.

Анализирајући узроке настанка отпора ваздуха може се извести аналогија са формирањем аеродинамичке буке возила приликом кретања кроз ваздушну средину а која може бити проузрокована услед [44, 47]:

- облика каросерије возила (као последицу генерише разлику притисака у предњем и задњем делу аутомобила и прилепљивања честица ваздуха за површине аутомобила),
- дисконтинуитета у облику каросерије у односу на основни облик аутомобила (као последицу генерише вртложење ваздуха на оштрим ивицама и потпорним стубовима на возилу) и
- прострујавања ваздуха кроз систем за хлађење мотора и система за климатизацију путничког простора (као последицу генерише вртложење ваздуха у наведеним подсистемима).

Овде треба приметити једну важну чињеницу. Брзина кретања возила се мења у распону од 0 до V_{\max} али и по правцу јер возило мора да прати трасу пута. У реалним условима на струјана догађања у зони кретања моторног возила утичу и кретања других возила као активних или пасивних учесника у саобраћају. Из наведеног недвосмислено произилази да су сва досадашња испитивања у аеродинамичким тунелима само кратки инсерти из реалних догађаја и да изведене закључке из ових испитивања треба прихватити са одређеном резервом. У прилог овој констатацији иду и подаци о пољу притиска који се формирају на каросерији [44, 54].

Имајући у виду брзине којима се моторна возила крећу кроз ваздушну средину, набројаним компонентама отпора ваздуха и аеродинамици се мора посветити значајна пажња још у најранијим фазама њиховог пројектовања. Треба посебно напоменути да се оптимизација параметара аеродинамике може обавити, под претпоставком да је усвојен коначан спољашњи стил аутомобила и да се током оптимизације може утицати само на детаље аутомобила, применом симулације уз помоћ одређених модела.

4.1.8. Бука трансмисије

Задатак трансмисије је да пренесе механичку енергију на погонске тачкове, где се, као резултат узајамног дејства тачкова и тла, јавља тангенцијална сила која доводи до кретања аутомобила. У трансмисији се врши трансформација обртног момента и промена брзине обртања вратила, а од ње се захтева: висока поузданост и мали губици енергије (висок степен искоришћења), функционалност, мала маса и габарити, лако управљање са могућностима блокирања тачкова, повољни параметри проходности, мала бука и вибрације, лако одржавање и опслуживање и сл.

Бука трансмисије може бити смањена пре свега оптимизацијом макро и микрогеометрије зупчастог пара. Макрогеометрија подразумева пре свега основне параметре пројектовања и конструисања зупчаника (модул, број зуба, облик зуба, угао спрезања, ширина и тд.). Микрогеометрија је везана за структуру материјала од кога се израђују елементи трансмисије. Приликом конструисања зупчастог пара морају да постоје одређени компромиси из разлога јер су

поједини захтеви који се стављају испред зупчаника контрадикторни што у суштини представља ствар избора критеријума оптималности [55].

Стварање буке унутар овог подсистема возила је превасходно везано за буку која се ствара у мењачком и диференцијалном преноснику, тачније приликом спрезања зупчастих парова. Бука коју стварају зупчасти парови расте са порастом брзине и то стопом од 6 dBA до 8 dBA са удвостручивањем брзине ротације, а такође, расте и са порастом преноса снаге и то од 2,5 dBA до 4 dBA са удвостручивањем преноса снаге [55]. Када је у питању идеалан зупчасти пар који се окрећу константном брзином, пренос снаге се обавља без буке и вибрација. У пракси се међутим, појављују одрађени проблеми пре свега у профили зуба и зазору између спрегнутих зуба, док се у неким случајевима појављује и ексцентричне силе које генерише вратило. Зуби зупчаника су еластични и благо се савијају под дејством оптерећења, што за последицу има да неоптерећени зуб на погонском зупчанику је благо испред свог теоретског положаја док је неоптерећени зуб гоњеног зупчаника благо иза свог теоретског положаја. Приликом спрезања погонског и гоњеног зупчаника долази до трансфера тренутног оптерећења са зуба на зуб услед чега се генерише бука у зони спрезања. Значајни напори су учињени последњих година како би се побољшали еластичност и профил зуба у циљу смањења ове буке. Из разлога што су зуби изложени пре све променљивом оптерећењу ово није могуће постићи у свим условима рада.

4.1.9. Бука кочница

Иако је много тога урађено на пољу теоретских и експерименталних истраживања у протеклих неколико година, механизам генерисања буке код добош и диск кочница још увек није потпуно разјашњен. Проблем буке кочница је најчешћи разлог жалби корисника возила према евиденцијама продаваца возила где готово 26 % потрошача у току прве године експлоатације возила поднесе жалбу на буку коју стварају кочнице [56]. Природа овог проблема лежи у чињеници да велики број различитих компоненти улази у састав оваквог једног система. Осим тога било да се ради о добош или диск кочницама, проблем представља и структура материјала диск плочица или кочионих облога када долазе у контакта са добошем односно диском. Динамички нестабилни систем за кочење резултира вибрацијама кочних елемената који генеришу буку приликом процеса кочења.

4.1.10. Закључна разматрања о буци возила

Најефикаснији начин за смањење буке емитоване од стране возила је да се контролише бука на извору, односно да возила постају тиша. Код већине возила бука коју емитује возило потиче од стране мотора, система за хлађење и вентилатора, издувног система, пнеуматика и аеродинамике самог возила. Проблем код овако дефинисаних извора буке на возилу је тај што они мењају своје позиције доминантних извора буке при различитим брзинама, режимима вожње

(аеродинамичка бука), као и начинима преноса ове буке у зависности од саме конструкције возила (структурална бука) [47].

При већим брзинама кретања возила аеродинамичка бука и бука пнеуматика постају све значајније, док бука мотора постаје све слабија иако она у суштини не мења свој интензитет него практично постаје маскирана од стране аеродинамичке буке. На пример иако је бука пнеуматика смањена последњих година кроз побољшане и дизајн газећег слоја, они и даље остају један од доминантних извора при већим брзинама. Различити типови коловоза стварају буку различитих карактеристика, која такође, варира у зависности од брзине возила. У једној истој категорији возила па чак и кад је у питању иста марка возила могуће је дефинисати поједине подкатеорије које различито емитују буку. Таква бука ће зависити пре свега од низа различитих фактора као што су на пример тип самог возила (спортски, луксузни, градски, економик и тд.), снаге мотора и његовог капацитета, тежине возила, величине и типа пнеуматика као и величине и типа издувног система који опет у зависности од тежине, величине и дизајна возила може да варира и тд. Оно што се може уочити је да ниво основне буке које емитује једно возило у почетној фази експлоатације возила највише зависи од конструкционих параметара које је дефинисао произвођач возила.

Аутомобилска индустрија је дошла до закључка да дизајн и пројектовање возила мора да задовољи специфичне захтеве купаца како би побољшала атрактивност својих производа. Из тог разлога звучне карактеристике возила се више нису само могле сматрати као негативни ефекти или ефекти који утичу ометајуће на возача. Насупрот томе возачи и произвођачи возила су прихватили чињеницу да је одговарајући звук који се ствара унутар путничког простора, или емитовао у околину користан приликом војње. Такав приступ овом проблему ствара пријатан ужитак код возача са једне стране, а са друге стране повећава атрактивност и квалитет самог возила.



Слика 4.1. Прилагођавање чула слуха - перманентни изазови за аутомобилске инжењере

Од средине деведесетих година је присутно мишљење да је доминантни извор буке на возилу однос пнеуматика и подлоге. Може се међутим, закључити да није могуће јасно идентификовати доминантан извор буке кад је у питању појединачно возило на коме је потребно радити у циљу смањења емисије буке, већ се у обзир морају узети велики број фактора који су одговорни за емисију буке и у сваком од њих тражити узрок стварања буке. Овај посао нарочито

отежава и чињеница да кад се идентификује неки фактор као узрок буке могуће га је даље опет поделити на већи број подфактора који су одговорни за емитовање буке. У том смислу овакав проблем произвођаче возила доводи у врло незавидан положај. Пре свега због постојања законског ограничења емисије буке возила и трошкова производње, али и због, како је већ речено, повећања атрактивности свог возила. Поставља се међутим, питање која је то граница емисије буке која је прихватљива за произвођаче а која неће драстично утицати на трошкове производње, и цену возила коју мора да плати купац. У том правцу су рађене разне студије [9, 57] које су имале за циљ управо да изврше процену утицаја нових граница емисије буке возила на економску ситуацију кроз упоредну анализу трошкова и користи овако дефинисаних граница. Такође, у [9, 10] је испитиван и какав ће утицај имати и нови поступци за мерење овако дефинисаних граница, пре свега кроз увођење нове категоризације возила и нових трошкова како за произвођаче возила тако и за становништво уопште. За смањење буке у друмском саобраћају за рецимо 5 dBA треба испитати могућност у сваком појединачном систему на возилу, али такође, треба проучити комплексну интеракцију између услова одвијања саобраћаја и нивоа буке. Једноставно речено, смањење појединачних извора буке није решење проблема већ се проблему мора приступити свеобухватно и добро планирано. Гледајући ствари на овај начин изненађујуће је да су досадашња законска ограничења буке код одређених система на возилима доношена посебно и независно једни од других.

4.2. Саобраћајни ток као извор буке

Као што је раније речно како би се смањило ниво емитоване буке настале од друмског саобраћаја неопходно је предузимати различите мере. Једна од расположивих мера јести и оптимално управљање саобраћајним током са аспекта емитовања што нижег нивоа буке. За овакво управљање саобраћајем неопходно је познавати каква је пре свега функционална веза између емисије буке и одговарајућих параметара саобраћајног тока.

4.2.1. Основни параметри и карактеристике саобраћајног тока

Основна разлика у условима кретања возила у саобраћајним токовима у односу на услове кретања појединачног возила је што у саобраћајном току на кретање возила делује и међусобна интеракција између возила. За што потпуније описивање саобраћајних токова, поред дефинисања основних параметара саобраћајног тока, неопходно је такође, дефинисати и значајније особености саобраћајног тока. У ред важнијих особености саобраћајног тока, значајних за описивање законитости кретања возила у саобраћајним токовима на друмским саобраћајницама и за садржајније описивање основних параметара саобраћајног тока, пре свега протока возила, спадају [37]:

1. сложеност саобраћајног тока,
2. општи услови одвијања саобраћаја,
3. састав или структура саобраћајног тока и
4. временска неравномерност саобраћајног тока.

Наиме са гледишта услова кретања возила у саобраћајном току карактеристика састава тока има веома комплексну и снажну улогу, јер испољава утицаје великих разлика које постоје у домену врсте и стања возила и домену психофизичких особина, обучености и мотивисаности возача. Уколико је хомоген ток састављен од путничких аутомобила потпуно истих техничко-експлоатационих карактеристика којима управљају возачи потпуно истих психофизичких особина и потпуно исте мотивисаности за вожњу, то је тзв. идеалан-хомоген ток. Идеалан-хомоген саобраћајни ток практично не постоји. Ток састављен 100 % од исте групе возила често се назива приближно идеалан ток, или пак хомоген ток и као такав има значење базног тока у домену практичног третмана утицаја састава тока на услове кретања возила у саобраћајном току. Реалан ток је у принципу нехомоген или мешовит ток. Степен нехомогености саобраћајног тока изражава се процентуалним учешћем осталих возила (аутобуса, камиона и тд.) у саобраћајном току [37, 58].

Степен нехомогености саобраћајног тока често се исказује и карактеристикама возача у току (они који редовно возе и тзв. викенд возачи). Састав саобраћајног тока, тј. питање у којој је мери ток хомоген или нехомоген, представља значајну карактеристику тока од које снажно зависе услови који владају у саобраћају на мрежи. Са порастом степена нехомогености тока погоршавају се услови у саобраћајном току у односу на услове у хомогеном току. Разлог погоршању услова у саобраћајном току код нехомогеног тока у односу на хомогени ток је пре свега што остала возила тзв. комерцијална возила (КВ) имају веће димензије (дужину, ширину, висину), а лошије возодинамичке карактеристике (неповољнији однос: снага/тежина) ради чега су спорија од путничких аутомобила, што нарочито долази до изражаја при вожњи на успону и у зони чворишта. У практичним ситуацијама често се на путу и путнички аутомобили морају прилагођавати брзинама кретања спорих и тешких комерцијалних возила. Разуме се и у оквиру исте врсте моторних возила, нпр. путничких могу постојати битне разлике у димензијама и возодинамичким особинама [37, 58].

С обзиром на перманентне промене које се догађају у развоју моторизације и путног саобраћаја, као и с обзиром на досада достигнути ниво сазнања о утицају карактеристике састава тока на услове одвијања саобраћаја, с правом се може рећи да је утицај ове карактеристике тока на услове одвијања саобраћаја на мрежи недовољно изучен и да ово представља важно подручје истраживања.

4.2.2. Теоријске релације између основних параметара саобраћајног тока

Под појмом теоријске релације између основних параметара саобраћајног тока подразумевају се фундаменталне везе између основних параметара саобраћајног тока које важе у условима идеалног саобраћајног тока. Под појмом идеалан саобраћајни ток подразумева се непрекинут ток једног низа возила, на једном правцу, која се крећу у једном смеру. Сем тога, сва возила су путнички аутомобили, исте марке, истог типа, истих техничко-експлоатационих карактеристика, којима управљају возачи истих психофизичких особина који на идентичан начин истовремено реагују у току вожње [37, 58]. Најзад, путни услови и услови амбијента су такође,

идеални. Није потребно доказивати да идеални саобраћајни ток не постоји у пракси, па такав ток треба схватити као теоријску претпоставку која има исходни значај у дефинисању фундаменталних релација у теорији саобраћајног тока. Од значаја је истаћи да се са усавршавањем система аутоматског управљања саобраћајним токовима уз примену рачунара уствари тежи ка условима кретања идеалног тока. То значи да услови кретања возила у условима идеалног саобраћајног тока зависе искључиво од интеракцијског дејства између возила у саобраћајном току, који су у функцији растојања слеђења између возила у току, односно у функцији густине тока, или пак у функцији интервала слеђења возила у току и средње просторне брзине тока [37, 58].

Саобраћај пре свега варира како у времену тако и у простору. Важна чињеница по питању простора је расподела саобраћаја по саобраћајним тракама. Проток возила по тракама може да варира у зависности од различитих елемената који чине саобраћајницу. За време било ког часа саобраћајни ток може да буде већи у једном него у другом смеру. Одређени градски пут може да покаже неравнотежу у односу 2:1 по смеровима. Искоришћеност саобраћајница по смеровима није статична карактеристика. Она се мења у току часа, дневно, сезонски и од године до године. Развој окружења у близини саобраћајнице често подстиче и раст саобраћаја, што мења и постојећу искоришћеност саобраћајница по смеровима. Градски путеви имају преко 2/3 саобраћаја у само једном смеру за време шпице. Добра особина је што се ти шпигеви јављају у једном смеру преподне, а у другом поподне [58].

Проток возила је променљива величина условљена бројним факторима, који су такође, по свом карактеру променљиви. Карактеристика временске неравномемости саобраћајних токова представља у знатној мери и последицу природе настајања потреба за просторним премештањем људи и добара у процесу друштвених и привредних активности на утицајном подручју посматране мреже. Неравномерност протока возила на неком делу мреже може бити изазвана и неким поремећајима на мрежи као што су, на пример, уска грла, временске и климатске неприлике и сл., што значи да поједини фактори који утичу на неравномерност протока имају карактер случајних величина. Због великог значаја неравномемости протока возила, за практичне одлуке у процесу планирања друмских саобраћајница, још од раних фаза развоја моторизације, напори стручњака били су усмерени ка што бољем упознавању са законитостима временске неравномемости протока возила. Полазећи од описаног идеалног саобраћајног тока, тј. од става да на услове кретања возила у идеалном саобраћајном току утиче искључиво интеракција између возила у току, коју третирамо као независно променљиву, у теорији саобраћајног тока дефинисане су фундаменталне релације између основних параметара саобраћајног тока, а пре свега између протока на одсеку q , средње брзине тока на одсеку V и густине тока на одсеку g .

4.2.3. Интервал усредњавања – период интеграције буке

У процедурама мерења буке у животној средини неопходно је да се примени одговарајући период интеграције да би се обухватили сви релевантни звучни догађаји. Такав је случај са мерењем саобраћајне буке на саобраћајницама где довољно дугачак интервал

интеграције чини да измерена ефективна вредност не зависи од евентуалних спорадичних звучних ексцеса који се могу јавити у току периода мерења (на пример пролазак једног возила са издувним системом у отказу). [59].

У околностима када је временски облик звучног сигнала комплексан, једини начин да се прати стање у звучном пољу је преко неке средње вредности. Средња вредност звучног притиска је увек једнака нули, јер је то променљива компонента притиска ваздуха. Због тога свака идеја о усредњавању звучног притиска води ка средњој квадратној вредности звучног притиска $p^2(t)$. Интервал усредњавања при утврђивању ефективне вредности сваког сигнала, па и звучног притиска, теоријски тежи бесконачности. Међутим, код праћења реалних звучних појава период усредњавања из сасвим практичних разлога не може бити бесконачан. При мерењу се ефективна вредност сигнала увек дефинише на основу неког коначног временског интервала T . Зато је у пракси ефективна вредност звучног притиска дефинисана као [23, 31]:

$$p_{ef}(t) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-T}^t p^2(t) dt}, \quad (4.1)$$

где је:

$p_{ef}(t)$ – ефективна вредност звучног притиска у времену t [dBA],

$p(t)$ – вредност звучног притиска у времену t [dBA] и

T – временски интервал усредњавања [s].

Пошто је звучни притисак нестационаран сигнал, одабрана величина интервала интеграције T директно утиче на израчунату ефективну вредност. Због тога при мерењу у звучном пољу избор периода интеграције мора бити предмет посебне пажње. Интервал T је предмет избора који зависи од околности. Уз то, у свакој исказаној вредности нивоа звука констатованој у неком звучном пољу примењена константа усредњавања је фактор који утиче на њу. Због тога њену вредност треба познавати да би се правилно тумачили резултати.

Избор временске константе T при мерењу ефективне вредности звучног притиска у пракси је релативно сложен. У том погледу не постоји јединствено решење, већ избор зависи од циљева због којих се врши мерење и од природе звучне појаве која се посматра. Глобално постоје два могућа тренда [59]:

- да T буде довољно велико како би се измерена ефективна вредност што више приближила теоријској вредности или,
- да T буде довољно кратко како би се омогућио увид у временске флукуације звучног поља, односно обвојнице таласног облика.

У процедурама мерења буке користе се две вредности константе усредњавања:

- кратка, када је $T = 125 \text{ ms}$ и
- дуга, када је $T = 1 \text{ s}$.

Стандарди који ближе дефинишу поступке мерења упућују на примену једне од ове две наведене вредности, у зависности од природе звучне појаве која се мери. Краћа временска константа уобичајено се означава са "fast", а дужа константа са "slow". Мерење дужом временском

константом маскираће краткотрајне импулсне појаве у звуку, али ће олакшати читавање податка о средњој величини ефективне вредности која се мења у времену. Мерење краћом временском константом омогућава праћење краткотрајних импулсних звучних појава, али те флукутације истовремено отежавају одређивање опште ефективне вредности за читав звучни сигнал. Норме за буку у животној средини најчешће дефинишу усредњавање сигнала у интервалу од 15 min. Постоје околности када се мерења врше са усредњавањем које може трајати и до 24 h. Чињеница да постоји просторна зависност звучног притиска подразумева да је ефективна вредност такође, у функцији просторних координата. Према томе, информација о ефективној вредности звучног притиска у звучном пољу мора бити праћена подацима о примењеном усредњавању и о положају микрофона [59].

4.3. Избор одговарајућег индикатора буке

Једна од карактеристика саобраћајне буке је временска зависност. Из тог разлога је потребно да се пронађу што бољи индикатори и показатељи за одређивање нивоа буке у времену [24, 60, 61, 62]. Најчешћи индикатори буке који се данас користе за описивање саобраћајне буке се могу условно речено поделити на два дела. Пре свега је то група индикатора која се односи на релативно мали временски интервал времена као што су у питању секунде или минути. Са друге стране је то група индикатора који се користе на дужим временским интервалима као што су сати, неколико сати, дани или више дана.

Уопште када се говори о резидуалној буци, односно о постојећем нивоу буке или претходној буци њено одређивање захтева дуготрајна праћења нивоа буке (више дана у различитим сезонама), а затим и евалуацију овако добијених вредности по неком стандардизованом поступку [61]. Одређивање постојећег нивоа треба сматрати као јако дуг поступак који даје недовољно поуздан резултат. Запис континуалног нивоа буке показује да је једнобројна вредност сведена на референтно време била јако променљива, поготову у ноћном периоду где она има изразите трендове опадања односно пораста. Са друге стране, у зонама где је доминантни извор само повремени друмски саобраћај ситуација је још неповољнија. Свођењем на дневни или ноћни ниво буке не може се обезбеди квалитетан показатељ. Неки од процентних нивоа са великим индексом, нпр. L_{90} или L_{95} , би могли да евентуално послуже сврси. У случају да се решење тражи на овакав начин било би потребно утврдити јединствену процедуру која би обезбедила утврђивање овако дефинисаног индикатора. Треба имати у виду да на основу мерења процентних нивоа у краћим временским интервалима нпр. од 15 min није могуће никаквим израчунавањем одредити одговарајућу вредност у дугачком интервалу. Тако нпр. на бази четири узастопна L_{90} на по 15 min није могуће одредити одговарајући L_{90} у периоду од једног сата.

Одређен број модела која се данас примењује за предикцију саобраћајне буке а који користе емисионе нивое појединачних возила или групе возила за прорачун еквивалентног нивоа буке у току једног сата у основи користе максимални ниво буке возила у покрету [70]. Ово са једне

стране и има одређено оправдање јер већина притужби на рачун саобраћајне буке су повезане са вредностима максималног нивоа буке који се често зна генерисати од стране тешких возила или модификованих возила. Када је у питању оваква врста буке која долази од стране појединачних возила и кад вредности оваквог нивоа буке премашују ниво позадинске буке, онда овакав тип буке има посебан значај у субјективном доживљавању овог типа буке. Међутим, овакво тумачење улазне вредности буке у сам модел се пре свега базира на чињеници да се возило посматра као појединачни извор буке који се креће дуж саобраћајне траке.

За описивање буке је могуће користити различите дескрипторе у зависности шта се тачно жели описати. Модели који се данас примењују за предвиђање саобраћајне буке углавном анализирају енергетске вредности буке у периоду дефинисане временске јединице (нпр. 1 h или 15 min) – ознаки $L_{eq}(1h)$ односно $L_{eq}(15\ min)$. Осим L_{eq} постоје бројни други параметри који се користе за квантитативну процену буке. Од многобројних битно је поменути средњи ниво буке за дан и ноћ L_{DN} , што у ствари представља L_{eq} за 24 h при чему су ноћне вредности од 22 h до 06 h повећане за 10 dB чиме се истиче штетност ноћне у односу на дневну буку. Иначе као општи индекс штетности буке предложен је и индикатор загађености буком L_{NP} (noise pollution level) који је веће нумеричке вредности од L_{eq} јер укључује стандардна одступања мереног узорка. Сходно карактеристикама буке и циљевима самог мерења зависиће и параметар који се користи. Сваки од њих даје посебне информације које могу бити интересантне за одређене услове.

Вишегодишњи трендови су значајан показатељ буке на некој локацији. Они могу да послуже као показатељ на пример у случају када се предузимају неке мере у циљу смањења буке. Примера ради очигледно је да због пада обима саобраћаја у неком периоду бука може бити знатно мања. На основу мерења и анализе може се закључити да еквивалентни нивои како за дан тако и за ноћ могу значајно да варирају од годишњег периода у коме се мерења обављају, чиме се праве озбиљне тешкоће у формирању и оцени критеријума за постојеће тј. затечено стање буке на локацији. Погрешна процена затеченог стања може да доведе до озбиљних импликација. Треба имати у виду да се већи број жалби на буку своди на конфликтну ситуацију барем две стране. Вештачења у таквим случајевима увек су деликатна и носе велику одговорност. Регулатива у том случају мора да буде конзистентна и на нивоу затеченог стања и правила струке [61].

У већини Европских земаља се користе, може се рећи исте ознаке за поједина мерења. Иако се користе исте ознаке код већине земаља, постоје одређене разлике које не треба занемарити а које се огледају пре свега у: дефиницији одређених корективних фактора на укупни ниво буке, референтном временском интервалу, метеоролошким условим, условима мерења буке (слободно поље буке или постоји рефлексија), усредњавање у дужем временском периоду. Пре свега су овде изражене разлике у погледу периода и времена процене буке. Наиме период од 24 h, који је иначе у употреби код већине земаља је подељен на два периода – дневни и ноћни, а неке земље уводе и трећи период – период одмора (табела 4.1). У том циљу Европска комисија је предложила хармонизацију ових индикатора буке која се огледа у следећим препорукама:

1. да се сви нивои буке (у току дан, вечери и ноћи) обједине у један нови показатељ - свеобухватни утицај буке L_{EU} који би се одредио на основу израза [60, 61]:

$$L_{EU} = 10 \log \frac{1}{24} \left[12 \cdot 10^{0,1L_d} + 4 \cdot 10^{0,1(L_e+5)} + 8 \cdot 10^{0,1(L_n+10)} \right], \quad (4.2)$$

где је:

L_{EU} – укупан ниво буке у току 24 h [dBA],

L_d – еквивалентни ниво буке у току дана [dBA],

L_e – еквивалентни ниво буке у току вечери [dBA] и

L_n – еквивалентни ниво буке у току ноћи [dBA].

2. дужина временског интервала за дан узети 12 h (од 7 h до 19 h), вече 4 h (од 19 h до 23 h) а за ноћ 8 h (од 23 h до 7 h),
3. висина мерења буке у овим случајевима би требало да се обави у тзв. слободном пољу на висини од 4 m како би се смањило утицај рефлексije околног терена.

У табели 4.1 су приказани индикатори буке код појединих земаља Европске заједнице као и индикатори који су усвојени од стране ISO [61, 63, 64].

Табела 4.1. Индикатори буке у друмском саобраћају код појединих земаља [61]

Земља	Индикатор	Временски период		
		дан h	одмор h	ноћ h
Аустрија	L_{Aeq}	(6-22) 8	-	(22-6) 0,5
Данска	$L_{Aeq, 24 h}$	(7-18) 8	(18-22) 1	(22-7) 0,5
Француска	L_{Aeq}	(7-20)	(6-7;20-22) 1	(22-6)
Немачка	$L_{Aeq}+K$	(6-22) 16	-	(22-6) 0,1
Велика Британија	L_{Aeq}, L_{10}	(7-23)	-	(23-7)
Италија	L_{Aeq}	(6-22) 16	-	(22-6) 8
Холандија	L_{Aeq}	(7-19) 12	(19-23) 4	(23-7) 8
Шведска	$L_{Aeq, 24 h}$	(7-18) 8	(18-22)	(22-7)
Србија	L_{Aeq}	(6-22)	-	(22-6)
ISO	L_{Aeq}	-	-	-

Већина притужби на рачун саобраћајне буке су повезане, како је раније речено, са вредностима максималног нивоа буке који се често зна генерисати од стране тешких возила или модификованих возила. Када је у питању оваква врста буке која долази од стране појединачних возила и кад вредности оваквог нивоа буке премашују ниво позадинске буке, онда овакав тип буке има посебан значај у субјективном доживљавању овог типа буке [65, 66]. Међутим, много значајнију улогу има вредност еквивалентног нивоа буке у посматраном временском интервалу.

За анализу која ће се спровести у оквиру ове дисертације биће коришћен еквивалентни ниво буке L_{eq} у периоду од 15 min и 1 h, који је такође, усвојен и од стране ECRTN (*ECRTN - Environmental criteria for road traffic noise*) за различите временске интервале. ECRTN најчешће користи ознаку L_{Aeq} , означавајући на тај начин да се ради о еквивалентном нивоу буке по тежинској криви А. У даљој анализи за еквивалентни ниво буке биће коришћена управо овако дефинисана ознака.

4.4. Карте буке

Карте буке представљају поступак који се уводи Директивом 2002/49/ЕС, а треба да омогуће процену нивоа буке. Овакав поступак мада формално озваничен у ЕУ није до сада озбиљније заживео у земљама чланицама. Земље чланице би требало Европској комисији да достављају годишње извештаје о процени нивоа буке [60, 67, 68]. Карте буке као прорачунска метода представљају привидно једноставан поступак за глобалну процену буке. Њихова тачност, применљивост и значај је ограничена самим прорачунским поступком. Превише је утицајних параметара као меродавних улазних величина што имплицира несигурност резултата. Такође, озбиљну тешкоћу код израде карата буке представљају непостојање адекватних топографских подлога са висинама зграда. Директива предлаже француски модел за прорачун буке, који строго разликује одређивање нивоа буке у градском подручју од отвореног пута и заснива се на замени линијског извора буке серијом еквивалентних тачкастих извора. Са друге стране, земље чланице у већој мери користе немачки модел за прорачун буке.

Основни улазни податак за израду карата буке је податак о акустичкој снази зрачења возила када је у питању друмски саобраћај. База података за методу RLS 90, начињена је у највећој мери на основу резултата сакупљених у Немачкој. То пре свега може довести до грешке у прорачуну због велике различитости у саобраћајном фонду. Овај проблем се може решити пре свега калибрацијом модела. Калибрација би се састојала од мерења буке и снимања саобраћајних услова и затим имплементације ових резултата у сам модел. Код нас веће урбане средине имају повремено мониторинг буке. Овакав мониторинг уколико је спроведен по адекватној мерној процедури треба сматрати као релативно добар показатељ комуналне буке у урбаној средини. Оваква мерења се обично публикују у форми одговарајућих извештаја о стању буке на мерном подручју [74, 75]. Недостатак ових извештаја лежи пре свега у чињеници да су они ослоњени само на утврђивању нивоа буке и то претежно оних индикатора који су дефинисани од стране наручиоца извештаја и веома ретко тај ниво буке повезују са одређеним саобраћајним показатељима. Директива предлаже и методе за прорачунавање буке других видова саобраћаја као што су ваздушни, железнички и речни саобраћај [61].

Карте буке јесу један од могућих показатеља, али са бројним недостацима. Превише компликована припрема (топографске подлоге), као и непоуздан прорачун која настаје од саме чињенице да се саобраћајни фонд у земљи где је метода прорачуна настала (Немачка) знатно разликује од ситуације код нас. Као што је раније речено обим саобраћаја може да буде довољан показатељ о очекиваном нивоу буке. На основу таквог показатеља је потребно одабрати локације на којима би се радио мониторинг буке. Резултат добијен мониторингом је најреалнији показатељ стања. На основу оваквог искуства је могуће да се формулишу правила, услови и критеријуми за мерење и оцену комуналне буке. Међутим, овакво стање је могуће само код постојећег стања. Проблем представљају нека будућа или новопроектвана решења. На основу оваквих истраживања би требало формирати коначни национални модел за предикцију буке који би могао бити искоришћен и за анализе у новопроектованим стањима.

4.5. Карактеристике локације мерења

У циљу минимизирања утицаји различитих параметара, који се могу појавити на мерном месту, а који могу утицати на ниво измерене буке а посебно буке појединачног возила, извршно је рангирање утицаја појединачних параметара и дефинисани су услови које локација треба да задовољава. Сама локација за мерење мора пре свега да задовољи одређене карактеристике [13, 63,64, 80]:

1. раван, отворен простор без већих рефлектујућих површина, као што су паркирана возила, великих саобраћајних знакова и рекламних паноа, зграда, нагиба или брда која су лоцирана у кругу од минимално 30 m посматрано било у односу на путању возила било у односу на положај микрофона,
2. површина подлоге у подручју мерења не сме бити прекривна снегом или неким апсорбујућом материјом односно да представља са аспекта акустике чврсту подлогу (нпр. асфалт или бетон) или меку подлогу (нпр. трава, земљана површина и тд.),
3. линија визуре посматрано из позиције микрофона према путу мора бити неометана и да захвата угао од минимално 150°,
4. путања возила, односно коловозна трака је глатка, сува, направљена од бетона, густе гранулације асфалта и без ирелевантних материјала, као што су шљунак или друге наслаге,
5. локација на којој се врши мерење мора бити далеко од познатих извора буке, као што су аеродроми, градилишта, индустријска постројења, железничких чворишта, или других великих извора буке,
6. на локацији мерења је неопходно да возила могу да развијају брзине између 20 km/h и 120 km/h у условима непрекинутог саобраћајног тока која је довољно удаљена од раскрснице, да не долази до спајања саобраћајних трака или било којих других сметњи које би проузроковале да саобраћајни ток убрзава или успорава из неког разлога, осим ако се емисија буке не мери за возила која подлежу прекинутом саобраћајном току или условима успона на путу.

Наведене карактеристике локације и њихови параметри на којој се врши мерење емисије буке за појединачна возила су приказана у општем облику. Додатни или посебни захтеви се такође, могу уврстити у наведене карактеристике у зависности од потреба и врсте мерења или специфичних захтева које дефинише истраживач у складу са потреба самог модела за предикцију буке.

4.6. Положај микрофона

Положај микрофона, односно уређаја за мерење буке ако је микрофон интегрисани део уређаја, треба дефинисати на такав начин да од површине пута буде постављен на одговарајућу висину која се у току процеса мерења не треба мењати. Код већине модела који се данас

примењују за анализу и предикцију буке ова висина се креће око вредности од 1,2 m што ће бити референтна висина која ће се примењивати у овом истраживању [3]. Удаљеност микрофона за потребе овог истраживања, од коловоза се може дефинисати на два начина [97]:

1. ако је у питању одређивање емисионог нивоа буке појединачног возила у покрету, микрофон треба да буде 7,5 m удаљен од средине правца по коме се креће возило и на висини од 1,2 m од површине коловоза, односно 7,5 m од средине саобраћајне траке за коју се врши мерење и
2. ако је у питању дефинисање еквивалентног нивоа буке саобраћајног тока, микрофон треба бити постављен на 7,5 m од средишне линије коловоза на висини од 1,2 m од површине коловоза.

Позиција микрофона наравно може зауимати и неки други положај који је неопходно дефинисати пре свега према потребама самога мерења. Примера ради у случају праћења опадања нивоа буке са повећањем растојања у односу на саобраћајницу, удаљеност од саобраћајнице може да узима било коју произвољну вредност. У сваком случају тачну позицију микрофона приликом мерења је неопходно јасно дефинисати и тај податак мора бити унапред познат.

4.7. Типови возила

Возила која се крећу на путевима припадају различитим категоријама. Са аспекта анализе буке коју генеришу, возила се обично групишу у акустично значајне категорије. То практично значи да се у једној истој акустичној категорији могу наћи возила различитих категорија, облика, димензија, техничко-експлоатационих карактеристика, година старости, погонских група, техничког стања и тд. Груписање возила у једну акустичну категорију пре свега треба извршити на основу њихових акустичних карактеристика, тако да њихове акустичне карактеристике статистички значајно не одступају без обзира којој категорији возила припадају. Пре свега подела возила на акустично значајне категорије произилази из самог модела за предикцију саобраћајне буке али и могућности да се обаве појединачна мерења и њихове заступљености у саобраћајном току. Подела возила на поједине категорије значајне за анализу унутар самог модела је урађено у глави 5.

4.8. Метеоролошки услови и околна топографија

Различити временски односно метеоролошки услови такође, могу допринети различито на измерени ниво буке нарочито у делу преноса буке од извора до места пријема. Метеоролошки услови нарочито имају допринос када су у питању већа растојања преноса звука. Сматра се да утицај временских услова, нарочито феномен апсорпције звука од стране ваздуха треба узимати у обзир за растојања већа од 300 m [93]. Обзиром да се често анализа саобраћајне буке врши на растојањима која су мања од ове вредности може се закључити да метеоролошки услови имају слаб утицај на саобраћајну буку јер се веома често ради о релативно кратким растојањима. Наравно овде треба рећи да се ипак ради о климатски повољним условима који подразумевају

услове без падавина (киша, суснежица, снег итд.), при умереним температурама (без изразито ниских или високих температура), као и умерену брзину ветра.

Околна топографија и врста околног терена такође, може имати утицаја на вредности саобраћајне буке која се мери. Наиме површине у околини пута или улице које су уређене од меких материјала (трава, земља и тд.) могу допринети ефекту смањења буке ма месту пријема у односу на чврсте подлоге (бетон, асфалт, и тд.).

4.9. Емисиони ниво буке појединачног возила

Максимална вредност буке коју емитује појединачно возило пре свега не одговара реалним условима кретања возила. Ово произилази пре свега из саме анализе поступка мерења ове величине, али и чињенице да буку коју генерише појединачно возило у покрету, није могуће поистоветити са појединачним извором буке коме одговара показатељ максималне вредности L_{max} . Возило се понаша као сложени извор састављен од више извора који мењају нивое емитовања буке у зависности од брзине кретања и различитих случајних фактора. Ова констатација се најлакше може уочити код дугачких возила при малим брзинама кретања као што су камиони са приколицом, тегљачи са полуприколицом и аутобуси [70]. До израде ове дисертације не постоји званични стандард за емитовање буке појединачног возила у реалним условима кретања код нас. Такође, не постоји ни дефинисан начин за мерење ове вредности као ни наш званични модел за предикцију буке.

Управо из ових разлога се ушло у анализу и дефинисање оног индикатора буке возила у покрету који би са прихватљивом поузданошћу описао ниво емитовања буке возила у реалним условима кретања, као и методологију за мерење овако изабраног показатеља. Због чињенице да се возило не може тачно апроксимирати као појединачни извор буке коме одговара показатељ максималног нивоа буке, намеће се идеја увођења новог индикатора буке појединачног возила у реалним условима кретања. Задатак овог индикатора пре свега је да у најбољој мери опише возило као сложени извор буке што управо одговара оном индикатору који дефинише енергетску вредност буке таквог извора. Ова врста и техника мерења буке је примењена у пар истраживања детаљније описаних у [24, 71]. У овом случају не постоји потреба за апроксимирањем возила као појединачног извора буке, обзиром да се мери енергетска вредност возила у пролазу у мерном интервалу. За потребе развоја модела за предикцију буке временски интервал који је узет као меродаван је еквивалентни ниво буке у периоду од 10 s [24]. Како би се грешке мерења свеле на минимални ниво, за потребе овог истраживања је предложен модел као и поступак мерења који пре свега пружа једноставнији поступак мерења и елиминисање могућих грешака у току самог процеса мерења.

4.10. Емисије буке појединачних возила у пролазу као улазни параметар у модел за предикцију буке

Ова тачка описује препоручену процедуру за мерење емисије буке возила у реалним условима кретања. Емисија буке појединачног возила је пре свега неопходна као улазни податак у модел за предвиђање саобраћајне буке. Процедура која је описана у овом поглављу у циљу прикупљања емисионих вредности буке појединачних возила је пре свега усаглашена са методологијом која је примењена за развој модела за предвиђање саобраћајне буке у зони пута.

4.10.1. Квалитет мереног догађаја и критеријум минималног растојања за мерење емисије буке појединачног возила у покрету

Пре свега под термином мерени догађај се подразумева утврђивање еквивалентне вредности емисије буке возила у пролазу у реалним саобраћајним и експлоатационим условима. Један од основних изазова приликом мерења емисије буке возила у покрету у реалним условима је да се обезбеди да мерење такве буке није значајно контаминирано од стране других возила или позадинске буке. Ради лакше анализе ове проблематике под позадинском буком ћемо подразумевати све оно што не обухвата саму буку коју емитује возило у пролазу. За потребе ове дисертације позадинска бука се може дефинисати као комбиновани ниво буке коју региструје микрофон непосредно у зони пута искључујући ниво буке коју емитује возило приликом проласка. Ово је нарочито битно код контаминације мереног возила другим возилом које се налази на довољно блиском растојању у односу на мерено возило. Контаминацију другим возилима је веома тешко избећи у случајевима кад постоји велики интензитет саобраћаја на мерној локацији а када је вредност мерене емисије релативно мала у односу на вредности које емитује друго возило (нпр. путнички аутомобил наспрам тешког теретног возила или аутобуса).

Да би се обезбедило одсуство контаминације мереног возила другим возилом неопходно је дефинисати минимално растојање слеђења између возила у пролазу (слика 4.2.). Када се возило приближава тачки у којој се започиње мерење, ниво буке који се региструје на микрофону је повезан са положајем возила (слике 4.2 и 4.3) и изразом 4.3. Израз 4.3 је базиран на две претпоставке [13]:

1. возило се понаша као тачкасти извор и
2. нема апсорпције звука од стране околног терена.

$$L_i = L_0 - 20 \log \frac{\sqrt{\Delta x_i^2 + D_0^2}}{D_0}, \quad (4.3)$$

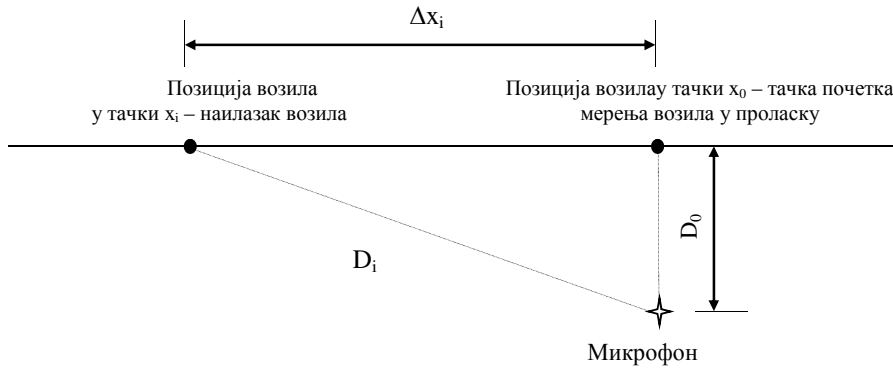
где је:

L_i – ниво буке возила на позицији x_i [dBA],

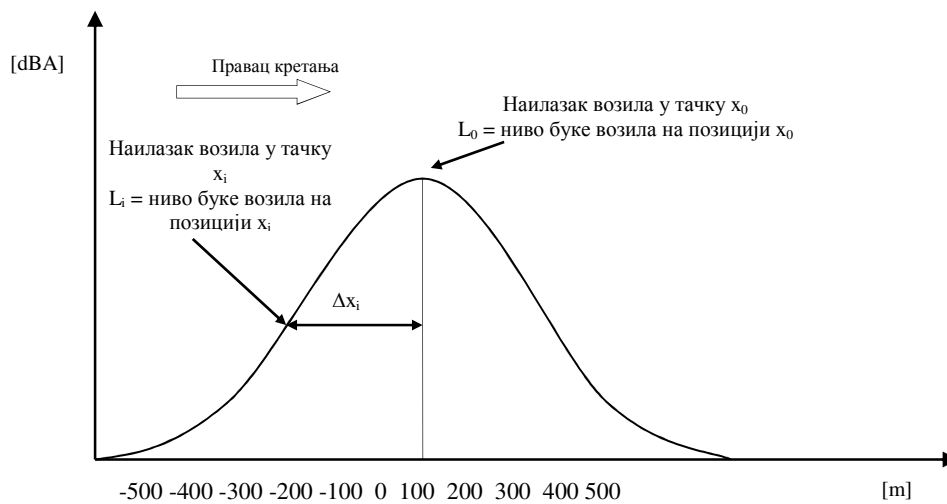
L_0 – највећи забележени ниво буке на позицији x_0 – тачка мерења возила у проласку [dBA],

Δx_i – растојање између позиција x_i и x_0 [m] и

D_0 – растојање између микрофона и тачке x_0 [m].



Слика 4.2. Шематски приказ одређивања минималног растојања слеђења возила приликом мерења емисије буке појединачног возила у пролазу

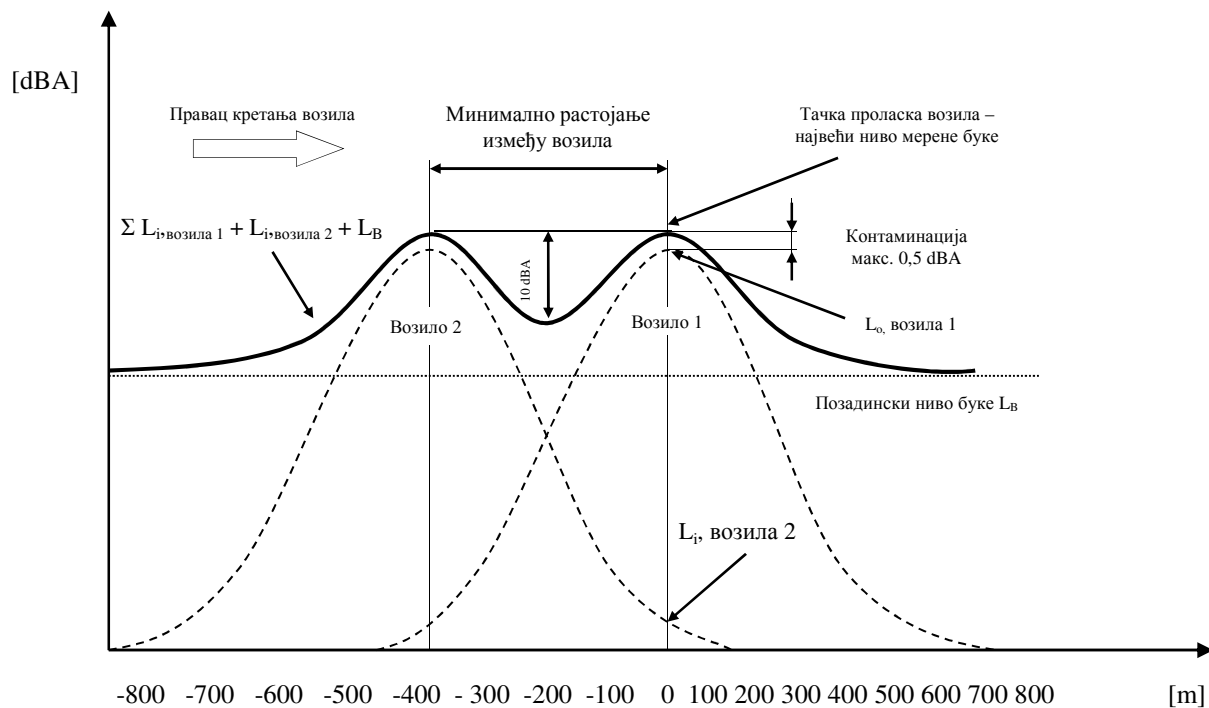


Слика 4.3. Графички приказ нивоа буке возила у тачкама x_i и x_0

На основу израза 4.3. се може дефинисати које је то минимално растојање између возила које је потребно а да не дође до контаминације мерења. Анализирајући овај проблем могућа су два сценарија. Први сценарио је везан за наилазак два возила која се понашају као два једнака звучна извора која емитују звук исте снаге као што је приказано на слици 4.4. Ако се као позадинска бука дефинише вредност L_B онда је потребно задовољити услов да је $L_B = L_0 - 10 \text{ dBA}$. Растојање између два возила која пролазе тачку мерења треба да буде тако да највећа измерена вредност буке не сме да садржи више од $0,5 \text{ dBA}$ контаминације у тренутку проласка возила 1 кроз тачку мерења. Овај сценарио одговара ситуацији када два возила исте категорије пролазе кроз тачку мерења (два путничка аутомобила или два камиона итд.).

Други сценарио је могућ када наилазе два возила која се понашају као неједнаки извори буке који емитују звук различите снаге. Ако се претпостави да је извор буке једног возила за 10 dBA већи од другог возила и ако се претпостави да је ниво позадинске буке за 10 dBA нижи од нивоа буке слабијег возила онда би овакав сценарио одговарао наиласку путничког аутомобила кога прати камион [72]. У том случају је неопходно размотрити друго минимално растојање између возила. Међутим, због различитих случајности и неодређености које су могуће да се појаве

на месту мерења буке возила у проласку препорука је да се ово минимално растојање увећа за одређену вредност. Према препорукама FHWA –RD-77-108 ово растојање треба да буде најмање 120 m између сличних или истих возила [13]. У случају наилаaska возила различитог типа, као што је аутомобил праћен тешким камионом, најмање растојање треба да буде 300 m. Овакво растојање слеђења возила је довољно да се обезбеди да је контаминација мереног возила мања од 0,5 dBA, али и под условом да је позадинска бука мања за 10 dBA него што је највиши ниво измерене буке. Овако препоручена растојање се односе на позицију микрофона удаљеног 25 m од правца кретања возила. Наравно да ће за позиције микрофона мање од ове вредности такође, важити минимално растојање слеђења возила, док у ситуацијама када је позиција микрофона већа од овог растојања ово растојање слеђења је подложно променама. Међутим, мерења емисије буке возила на растојањима већим од 25 m нема практичну примену. Оваква мерења се обично изводе ради утврђивања ефеката утицаја терена и ветра на ниво измерене буке.



Слика 4.4. Графички приказ минималног растојања између два возила истих емитованих нивоа буке

На основу претходне анализе могуће је закључити да када је разлика нивоа буке између два возила 10 dBA или више практично није потребно водити рачуна о минималном растојању између два возила. Ипак када је гласнији извор окружен са више мањих извора буке контаминација ипак може да наступи.

У сваком случају препорука је да се издвоји свако возило понаособ приликом мерења како би се избегла било каква могућност контаминације. Међутим, треба имати на уму да овакав начин избегавања контаминације са друге стране ограничава и намеће посебне услове мерења буке возила у пролазу. Да би се обезбедило одсуство контаминације мереног возила другим возилом у покрету, као и квалитет самог мерења могуће је дефинисати неколико препорука које је потребно применити приликом оваквог мерења:

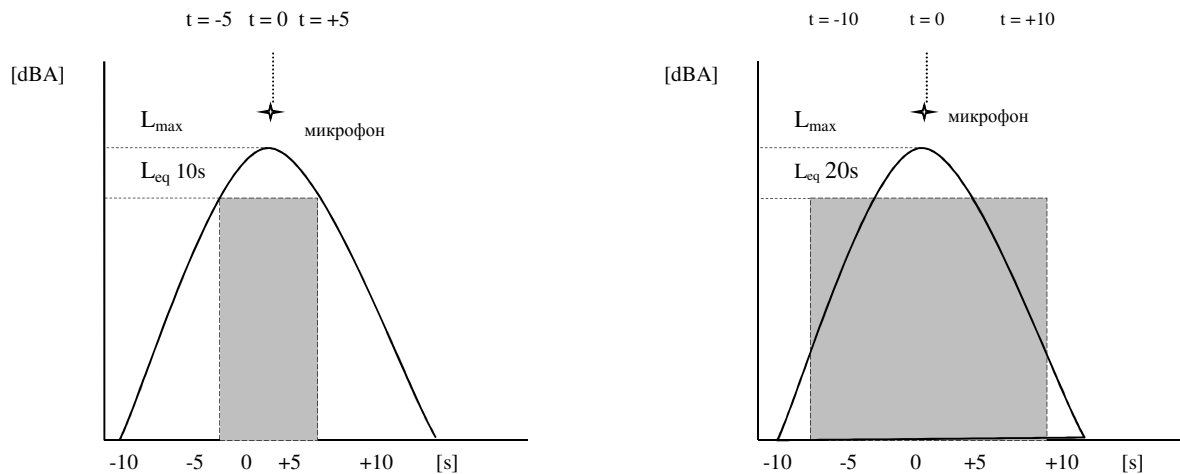
1. пре почетка самог мерења јасно дефинисати категорије возила које желимо да меримо,
2. дефинисати критеријуме за јасно препознавање ових категорија од стране оператера,
3. одабрати одговарајуће локације за спровођење оваквог мерења која испуњава услове у погледу довољне прегледности на основу опреме са којом се располаже,
4. дефинисати јасна и прецизна упутства операторима за спровођење оваквог мерења како би се омогућило препознавање и избегавање контаминације мерења други извором буке,
5. доминантан, амбијентални ниво буке на мерном месту мора бити довољно низак да омогући неконтаминирано мерење нивоа буке возила које је у пролазу. Конкретно, разлика између најниже очекиваног нивоа буке возила у покрету, односно максимално очекиваног нивоа буке возила према А-тежинској криви и амбијенталног нивоа буке такође, према А-тежинској криви измерена на 7,5 m од микрофона, треба да буде најмање 10 dBA.

4.11. Математички модел емисије буке појединачног возила коришћењем еквивалентног нивоа буке у временском интервалу

Као што је раније речено за мерење емисије буке појединачног возила у пролазу је одабран показатељ еквивалентног нивоа буке возила у временском интервалу од 10 s у ознаци L_{Aeq} (10s). Међутим, начин мерења L_{Aeq} (10s) може изазвати одређене грешке. Ово проистиче пре свега из начина и поступка мерења ове вредности. Наиме проблематичан део мерења пре свега је везан за тачно дефинисање почетка мерења буке као и тачан тренутак престанка мерења буке. Тачно одређивање почетка мерења и завршетка мерења буке у реалним условима може бити врло проблематично ако се не користи опрема за мерење која има аутоматски начин мерења буке. То произилази из разлога што лице које ради са уређајем за мерење буке треба у реалним условима да изврши различит низ процена. Пре свега треба да процени када да започне мерење, а то је обично 5 s пре него што возило прође замишљени пресек пута у зони инструмента. Грешка се огледа у томе да оператер не стартује инструмент тачно на време, односно веома је тешко да процени тачан положај возила када треба да започне мерење пре свега због различитих брзина возила којима се приближавају мерном месту. Коришћење једноставније опреме може бити врло проблематично јер је потребно на основу брзине кретања возила тачно проценити растојање од места мерења када треба започети мерење а када га завршити. Овде се може закључити да квалитет овако мереног догађаја искључиво зависи од искуства оператера уређајем. Овај проблем је могуће превазићи коришћењем одговарајуће опреме која је у потпуности аутоматизована и где процена почетка и завршетка мерења не зависи од оператера. Међутим, и са постојањем овакве опреме могуће су грешке везане за овакво мерење, превасходно из разлога што ангажовањем сложене и уочљиве опреме се утиче на понашања возача у таквим условима. У том смислу сасвим је оправдано потражити неки други начин мерења буке који пре свега не захтева сложену опрему, елиминише грешке процене почетка и завршетка мерења и своди контаминацију на најмању могућу меру.

Како би се превазишао овај проблем и добили бољи резултати мерења, за потребе овог истраживања је усвојена техника мерења за период од 20 s односно L_{Aeq} (20s). Идеја оваквог мерења лежи у томе да мерење започиње у тренутку када возило пролази непосредно испред микрофона а зауставља након 10 s. Техника и начин мерења је знатно олакшана а резултати који се добијају су довољно прецизни и ослобођени су грешке која се може појавити приликом поступка мерења због утицаја на понашање возача. За то време уређај за мерење буке бележи енергетску вредност тако емитоване буке.

Оваква техника мерења у ствари траје свега 10 s и може носити ознаку L_{Aeq} (10s) јер започиње у $t_1=0$ s а завршава у $t_2=10$ s, у односу на сличну технику мерења која започиње у $t_1=-10$ s а завршава у $t_2 = +10$ s (L_{Aeq} (20 s)) слика 4.5. Трансформација оваквог начина мерења од 10 s (L_{Aeq} (10 s) у L_{Aeq} (20 s)) се може математички описати на основу израза 4.4-4.10 сходно [24]. На овај начин се елиминише мерење максималног нивоа буке возила у пролазу и прелази се на енергетску вредност емитоване буке мереног возила у пролазу чиме се омогућава да овакав показатељ буде саставни део модела за предикцију буке [22].



Слика 4.5. Компарација између кривих дистрибуције буке за L_{eq} (10s) и L_{Aeq} (20s) возила у пролазу

Полазећи од општег израза за еквивалентни нивоа буке у периоду времена $T = t_2 - t_1$:

$$L_{Aeq}(T) = 10 \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right], \quad (4.4)$$

ако је: $t_1 = 0$ s, а $t_2 = +10$ s онда је:

$$L_{Aeq}(10s) = 10 \log \left[\frac{1}{10 - 0} \int_0^{10} \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right], \quad (4.5)$$

ако је: $t_1 = -10$ s, $t_2 = +10$ s онда је:

$$L_{Aeq}(20s) = 10 \log \left[\frac{1}{10+10} \int_{-10}^{10} \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right], \quad (4.6)$$

Ако би се поставио услов да је :

$$\int_{-10}^{10} \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt = 2 \int_0^{10} \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt, \quad (4.7)$$

онда би се могао написати трансформисани израз за $L_{Aeq}(20s)$:

$$L_{Aeq}(20s) = 10 \log \left[2 \frac{1}{10+10} \int_0^{10} \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right], \quad (4.8)$$

односно једначина 4.8. постаје:

$$L_{Aeq}(20s) = 10 \log \left[\frac{1}{10} \int_0^{10} \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right], \quad (4.9)$$

односно једначина 4.9. се може написати у облику:

$$L_{Aeq}(20s)_{(t_1=-10, t_2=+10)} = L_{Aeq}(10s)_{(t_1=0, t_2=+10)}, \quad (4.10)$$

где је:

$L_{Aeq}(10s)$ – еквивалентни ниво буке у периоду од 10 s [dBA],

$L_{Aeq}(20s)$ – еквивалентни ниво буке у периоду од 20 s [dBA],

$p(t)$ – тренутни ниво звучног притиска у времену t [N/m^2],

p_0 – референтни ниво звучног притиска 2×10^{-5} [N/m^2] и

$T = t_2 - t_1$ – временски интервал мерења буке возила у пролазу [s].

4.12. Индикатори буке који се користе у мерењу

Мерење еквивалентне вредности буке $L_{eq}(10s)$ није вршено директно, пре свега због евентуалне непрецизности инструмента, односно кратког временског интервала узроковања што би могло да доведе до одређене грешке у мерењу. Овај податак се може добити преко индикатора буке SEL (*SEL – Sound exposure level*). SEL елиминира пре свега утицај времена трајања самог мерења обзиром да представља нумеричку вредност укупне звучне енергије у периоду мерења интегрисану у 1 s, за разлику од L_{eq} који представља просечну вредност звучне енергије у периоду мерења. У том смислу SEL има двојаку улогу, пре свега директне компарације краткотрајне буке (јасније описује саме догађаје) [73], односно омогућава израчунавање L_{eq} за исти временски

период T . На основу познате трансформације ниво изложености буци се веома једноставно трансформише у ниво еквивалентне вредности буке у мерном интервалу на основу израза:

$$L_{eq} = SEL - 10 \log\left(\frac{T}{T_0}\right), \quad (4.11)$$

где је:

L_{eq} – еквивалентни ниво буке [dBA],

T – временски интервал мерења изражен у [s] и

$T_0 = 1$ s.

Овако добијена вредност L_{eq} (10 s) је затим коришћена као еквивалентни ниво буке за свако појединачно возило из своје категорије.

За мерење емисије буке саобраћајног тока је коришћен еквивалентни ниво буке по тежинској криви А у интервалу мерења од по 15 min и 1 h у различитим периодима дана како би се прикупио довољан број узорка случајног типа на изабраној локацији.

4.13. Карактеристике мерне опреме за мерење буке

За мерење буке А - пондерисаног нивоа нашим законодавством је дефинисана употреба уређаја - фонометра са 1/3-октавним филтрима чије карактеристике морају одговарати условима из стандарда СРПС Н.Р6.032 и из ИЕС 651, тип 1, односно за интеграционе ИЕС 804, Међународне електротехничке комисије. Ако се за мерење еквивалентног нивоа буке или нивоа изложености буци користе уређаји којим се непосредно добија еквивалентни ниво, односно ниво изложености буци, у оба случаја укупне релевантне карактеристике мерних инструмената морају одговарати стандарду СРПС Н.Р6.032 [63, 64,80].

Приликом извођења експерименталних истраживања мора бити коришћена опрема која ће обезбедити поуздане и тачне податке неопходне за даљу анализу у складу са важећим прописима и стандардима. Такође, карактеристике мерне опреме обавезно треба описати како би било познато о којој врсти опреме је реч и који је ниво тачности овако коришћене опреме.

4.14. Показатељи привредног развоја и друмског саобраћаја

У досадашњем излагању су разматрани одређени параметри који имају одређени утицај на буку а који би се условно речно могли сврстати у неке физичке карактеристике буке. Одговарајућим избором ове групе параметара може се на дискретан начин утицати на ниво измерене буке. Међутим, познато је да ниво емитоване буке зависи од обима и развијености саобраћајне инфраструктуре као и од општих навика становништва, па приликом истраживања буке коју емитују возила друмског саобраћаја као један од параметар који утиче на ниво емитоване буке пре свега може бити развијеност опште саобраћајне инфраструктуре. Одвијање саобраћаја у једној земљи умногоме зависи од привредног и демографског стања једне земље, као

и од развијености путне мреже. Из ових разлога су дефинисани одређени параметри који могу дати слику стања у каквим условима се одвија саобраћај у једној земљи. За праћење оваквог стања одабрани су следећи показатељи:

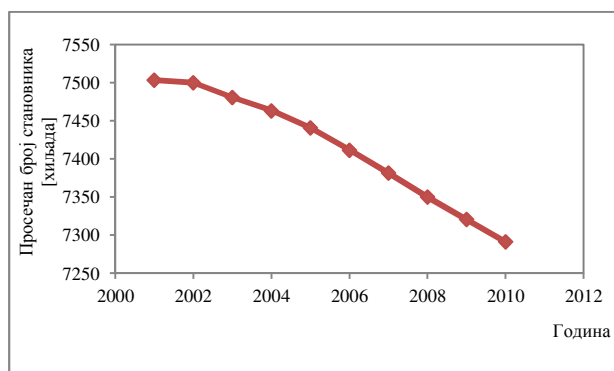
- бруто домаћи производ,
- број становника,
- развијеност путне мреже и
- степен моторизације и густина саобраћајне мреже.

Период посматрања који је узет за ову анализу је период од 2001. до 2010. године (без Косова и Метохије). Број становника и бруто домаћи производ (БДП) према подацима Републичког завода за статистику (РЗС) [78] су приказани у табели 4.2.

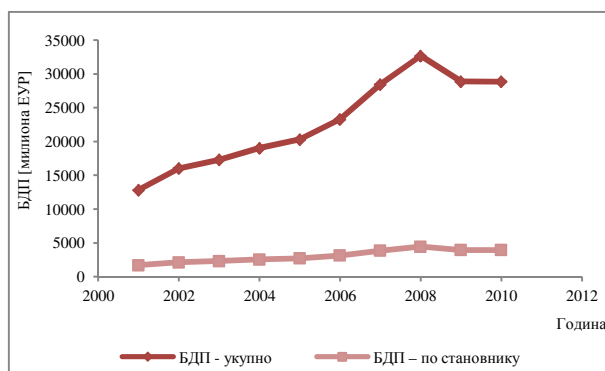
Табела 4.2. Економски показатељи за територију Републике Србије

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Просечан број становника [хиљада]	7503,4	7500,0	7480,6	7463,2	7440,8	7411,6	7381,6	7350,2	7320,8	7291,4
БДП - укупно [милиона РСД]	762178,4	972579,7	1125839,6	1380711,6	1683483,3	1962072,9	2276886,2	2661386,7	2713205,5	2986614
БДП - укупно [милиона ЕУР]	12821	16028	17306	19026	20306	23305	28468	32669	28884	28860
БДП – по становнику [ЕУР]	1709	2137	2313	2549	2729	3144	3857	4445	3945	3958
Просечан курс евра	59,44	60,67	65,05	72,56	82,90	84,19	79,98	81,46	93,93	103,48
Површина [km²]	77474									

Анализом података из табеле 4.2. може се уочити да БДП од 2001. године бележи стабилан раст (исказано у РСД) док исказано у еврима од 2008. године бележи благи пад што је последица промене курса евра. Вредност БДП по становнику такође, од 2001. године има исти тренд као и укупни БДП. Последица пораста БДП по глави становника се може тумачити двојачко, пре свега она може бити дефинисана на бази реалних економских показатеља или гледано са друге стране падом броја становник у посматраном периоду. Без обзира на напред дефинисано, предмет овог рада није дефинисање утицаја фактора на БДП већ утврђивање његовог тренда из разлога утицаја овог показатеља пре свега на структуру возног парка Србије. Број становника са друге стране има тенденцију опадања што се може тумачити различитим демографски и економским показатељима али оно што је интересантно јесте чињеница да је тај број у опадању, што може имати утицаја на величину и број регистрованих моторних возила. Трендови кретања броја становника и БДП у посматраном периоду су приказани на сликама 4.6 и 4.7.



Слика 4.7. Тренд кретања становника у периоду од 2001 - 2010. године



Слика 4.6. Тренд кретања БДП у периоду од 2001 - 2010. године

5.1.1. Путна мрежа

Путна мрежа је такође, један од битних показатеља развијености једне земље. Дужина категорисане путне мреже (без Косова и Метохије) се у посматраном периоду није драстичније мењала (табела 4.3) [78].

Табела 4.3. Развој путне мреже по привредном значају посматрано по годинама

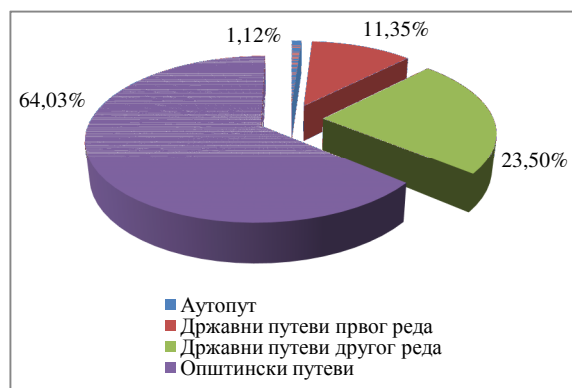
Година	Аутопут [km]	Државни путеви првог реда [km]	Државни путеви другог реда [km]	Општински путеви [km]	Укупно [km]
2001	374	5119	10401	22544	38064
2002	374	5119	10401	22824	38344
2003	374	4681	10934	22439	38054
2004	374	5070	10364	23073	38507
2005	374	5125	10407	23084	38616
2006	374	5122	10448	23229	38799
2007	374	5133	10448	23229	38810
2008	465	5156	10400	24163	39719
2009	495	5156	10400	24163	43839
2010	495	5020	10400	28333	44248

Табела 4.4. Категоризација путева по врсти коловоза посматрано по годинама

Врста коловозног застора	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Савремени коловоз [km]	24062	34312	34744	26286	25891	27675	27670
Туцаник [km]	8538	8453	8314	7320	7962	7	7493
Земљани пут [km]	5907	5851	5741	5204	5812		8471
Укупно [km]	38507	38616	38799	38810	39665	43839	43753



Слика 4.9. Тренд кретања дужине категорисане путне мреже у периоду од 2001 - 2010. године



Слика 4.8. Процентуално учешће појединих делова мреже у укупној путној мрежи

Табела 4.5. Категоризација путева по врсти коловоза у 2010. године

Врста пута	Савремени коловозни застор								Туцаник		Земљани пут		Укупно	
	асфалт		бетон		коцка		укупно		[km]	%	[km]	%	[km]	%
	[km]	%	[km]	%	[km]	%	[km]	%						
Аутопут	495	100	-	-	-	-	495	100	-	-	-	-	495	100
Државни путеви првог реда	4908	100	-	-	-	-	4908	97,77	59	1,18	53	1,06	5020	100
Државни путеви другог реда	9150	100	-	-	-	-	9150	87,98	754	7,25	496	4,77	10400	100
Општински путеви	13445	98,77	93	0,68	74	0,54	13612	48,04	6695	28,33	8026	23,63	28333	100
Укупно	27998		93		74		28165		7508		8575		44248	

Структура путне мреже је таква да путеви у надлежности локалне самоуправе имају највећи удео у укупној мрежи са око 65 %, након њих следе државни путеви другог реда са око 24 %, државни путеви првог реда са око 10 % и на крају аутопут са учешћем око 1 %. Као што је напоменуто посматрајући слику 4.8 може се уочити да се дужине путне мреже у посматраном периоду нису значајније мењале и да релативно имају стабилан тренд. Такође треба имати у виду да аутопутеви припадају категорији државних путева првог реда али су овде посебно издвојени због своје специфичности.

Што се тиче структуре коловозне површине од укупне дужине путне мреже око 65 % је са савременим коловозним застором, око 20 % је од туцаника а остало је земљани пут (слика 4.9). Овде се под савременим коловозним застором подразумева битуминизирани асфалт, бетон и коцка према подацима Републичког завода за статистику. Посматрано по врстама пута (табела 4.5) од укупне дужине аутопута 100 % је асфалтирано; државни путеви првог реда су око 98 % асфалтирани, 1 % су покривени туцаником и 1 % су неасфалтирани; државни путеви другог реда су око 88 % асфалтирани, око 5 % је са туцаником а око 7 % је неасфалтирано. Код општинских путева ситуација је нешто другачија око 48 % је асфалтирано, око 28 % је са туцаником а остатак је неасфалтиран око 24 %.

Посматрајући густину путне мреже може се уочити да највећу густину имају општински путеви, а најмању аутопутеви с обзиром на њихову дужину у укупној путној мрежи (табела 4.6). Такође, се може уочити да је највећа густина путне мреже ипак са савременим коловозним застором око 0,36 km/km².

Табела.6. Густина путне мреже у 2010. години

	Савремени коловозни застор			Туцаник			Земљани пут			Укупно		
	Дужина [km]	% од укупне дужине	Густина [km/km ²]	Дужина [km]	% од укупне дужине	Густина [km/km ²]	Дужина [km]	% од укупне дужине	Густина [km/km ²]	Дужина [km]	% од укупне дужине	Густина [km/km ²]
Аутопут	495	100	0,01	-	-	0,00	-	-	0,00	495	100	0,01
Државни путеви првог реда	4908	97,77	0,06	59	1,18	0	53	1,06	0	5020	100	0,06
Државни путеви другог реда	9150	87,98	0,12	754	7,25	0,01	496	4,77	0,01	10400	100	0,13
Општински путеви	13612	48,04	0,18	6695	28,33	0,09	8026	23,63	0,1	28333	100	0,37
Укупно	28165		0,36	7508		0,1	8575		0,11	44248		0,57

На основу ове анализе се може уочити да развијеност путне мреже у Србији у последњих пар година стагнира, односно да нема изградње нове путне инфраструктуре осим можда у сектору локалних путева. Јасно је да се већина друмског саобраћаја одвија по коловозу који је изграђен од битуминизираниог асфалта, и да су путеви вишег ранга углавном са савременим коловозним

застором. Овакав податак охрабрује обзиром да се највеће брзине кретања возила остварују баш на овим путевима, а позната је чињеница да ниво емитоване буке зависи од међусобног односа коловоза и пнеуматика и брзине кретања возила. Оно што се може очекивати у наредном периоду јесте суспендирање постојеће коловозне површине новим коловозним застором. Оваква активност у путној привреди би требала да отвори простор за истраживање утицаја карактеристика коловозних површина у нашим условима на ниво емитовања буке возила.

Анализом степен моторизације у Србији, изражену у броју регистрованих путничких возила на 1000 становника у посматраном периоду (табела 4.7.) може се уочити да се он у посматраном периоду увећао за око 22 % (са око 175 на око 214 путничких аутомобила на 1000 становника). Пораст овако израженог степена моторизације се пре свега може објаснити падом броја становника а релативно благим порастом бројем регистрованих путничких аутомобила у посматраном периоду. Европски просек за 2007. годину је износио око 435 путничких возила на 1000 становника, док у Америци тај број је око 776 путничких аутомобила на 1000 становника, док је у Румунији и Турској овај број око 150 путничких возила на 1000 становника. Степен моторизације у Србији је испод просека за поједине развијене земље Европске Уније а нарочито за земље са америчког континента.

Табела 4.7. Степен моторизације у периоду од 2001. године до 2010. године

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Просечан број становника [хиљада]	7503,4	7500,0	7480,6	7463,2	7440,8	7411,6	7381,6	7350,2	7320,8	7291,4
Број регистрованих путничких возила	1316412	1318606	1366579	1424659	1447182	1468471	1521298	1537602	1605737	1565550
Степен моторизације бр. путничких аутомобила на 1000 становника	175,44	175,81	182,68	190,89	194,49	198,13	206,09	209,19	219,34	214,71

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА МЕРЕЊА

Истраживање буке код нас се углавном односи на мерење нивоа буке у одређеном временском интервалу и одређеној локацији. Оваква мерења се углавном односе на мерење комуналне буке у различитим зонама града без давања јасног одговора у којој мери саобраћај утиче на укупан ниво буке. Углавном је ниво буке повезиван са бројем возила, евентуално одређеном категоризацијом возила, веома ретко са њиховим брзинама, а готово никада са осталим битним параметрима саобраћајног, о чему сведоче многи извештаји о нивоу комуналне буке која се мери на територији Републике Србије од стране овлашћених завода [74, 75]. Често је присутно извођење одређених закључака да теретна возила имају значајан ефекат на ниво буке која се мери, као и брзина кретања возила без посебне и јасне анализе њиховог доприноса услед чега је могуће произвести погрешне акције на основу оваквих резултата мерења. Озбиљнија истраживања буке и саобраћајних параметара се веома ретко изводе [2, 7], или се изводе независно једна од других што у крајњем случају није могло резултирати адекватним моделом који би повезао ова мерења. На тај начин се не добија права слика о нивоу буке и утицају параметара саобраћајног тока на ниво тако измерене буке.

У том смислу у овој фази докторске дисертације су спроведена различита експериментална истраживања која имају за циљ да прикупе што је више могуће валидних података. Овако добијени подаци ће бити искоришћени за израду једног модела за предикцију буке, његову калибрацију али и за верификовање других модела који се данас примењују у Европи и појединим деловима света. Експериментална истраживања која су обављена се могу груписати у три фазе:

1. Фаза – истраживање и анализа структуре, обима и временске неравномерности саобраћајног тока на посматраној саобраћајници у циљу дефинисања меродавне структуре саобраћајног тока за даља истраживања, односно дефинисање меродавних група возила на којима ће се спроводити остали део истраживања,

2. Фаза – истраживање и анализа тако дефинисаних меродавних група возила са аспекта емисије буке појединачних возила која припадају тако дефинисаној групи у зависности од брзине кретања тог возила у реалним условима кретања возила и
3. Фаза – истраживање и анализа еквивалентног нивоа буке реалног непрекинутог сложеног саобраћајног тока на посматраној саобраћајници.

5.1. Мерна опрема

За обављање овако дефинисаног истраживања потребно је обезбедити одговарајућу мерну опрему. Приликом извођења експерименталних истраживања је коришћена пре свега опрема која је обезбедила поуздане и тачне податке неопходне за даљу анализу. Из тог разлога у овом делу дисертације је дат кратак преглед опреме која је коришћена за прикупљање потребних података.

За дефинисање параметара саобраћајног тока на посматраној саобраћајници је коришћен уређај за аутоматско бројање саобраћаја QLTC – 10 C који прати стање различитих параметара саобраћајног тока одвојено по саобраћајним тракама. Уређаја за аутоматско бројање саобраћаја QLTC – 10 C који, када ради са две индуктивне петље, класификује возила у 11 категорија. Поред ове класификације возила по саобраћајној траци у стању је да мери још и:

- број возила по категоријама у периоду од по 1 h (q),
- просечну брзину путничких возила (категирија A1) у интервалу времена од 1 h (V_a),
- најмање забележену брзину у интервалу мерења (V_{min}),
- просечну брзину свих возила у интервалу времена (V_{avg}),
- највећу забележену брзину у интервалу времена (V_{max})
- заузетост петље у интервалу времена (OCC).

Изглед и положај аутоматског бројача саобраћаја QLTC – 10 C је приказан на слици 5.1.



Слика 5.1. Приказ уређаја за мерење параметара саобраћајног тока на мерној локацији

За мерење буке је коришћен уређај за ручно мерење буке Bruel&Kjaer тип 2230 који мери и прати четири карактеристике у исто време (L_{eq} , SEL, MAX, MIN) приказан на слици 5.2. Овај тип уређаја спада у уређаје за мерење буке класе 1 чија је грешка мерења 0,1dB.



Слика 5.2. Приказ уређаја за мерење буке на мерној локацији

За мерење брзине кретања појединачног возила коришћен је ручни радар са сталком којим је мерена тренутну брзину возила у проласку. Ради се о ручном радару Eurotronic Tehnology GmbH марке V-max са опсегом мерења брзине од 5 km/h до 199 km/h. Најбоље карактеристике мерења има у опсегу од 80° по хоризонтали и 30° по вертикали на растојању од 5 m. Наиме овај уређај веома тачно евидентира брзине проласка појединачних возила ако не постоји контаминација мерења од стране других возила или покретних објеката са тачношћу од ± 1 km/h, што одговара тачношћу радара које користи саобраћајна полиција. Овај уређај не омогућава селектовање брзине кретања возила у зони мерења из саобраћајног тока (као ласерски радари), али при дефинисаним условима мерења појединачних возила, (тачка 5.7), се може поуздано искористити за прикупљање потребних података. Изглед и положај радара на мерној локацији су приказани на слици 5.3.



Слика 5.3. Приказ уређаја за мерење брзине појединачног возила на мерној локацији

5.2. Структура возног парка у Србији

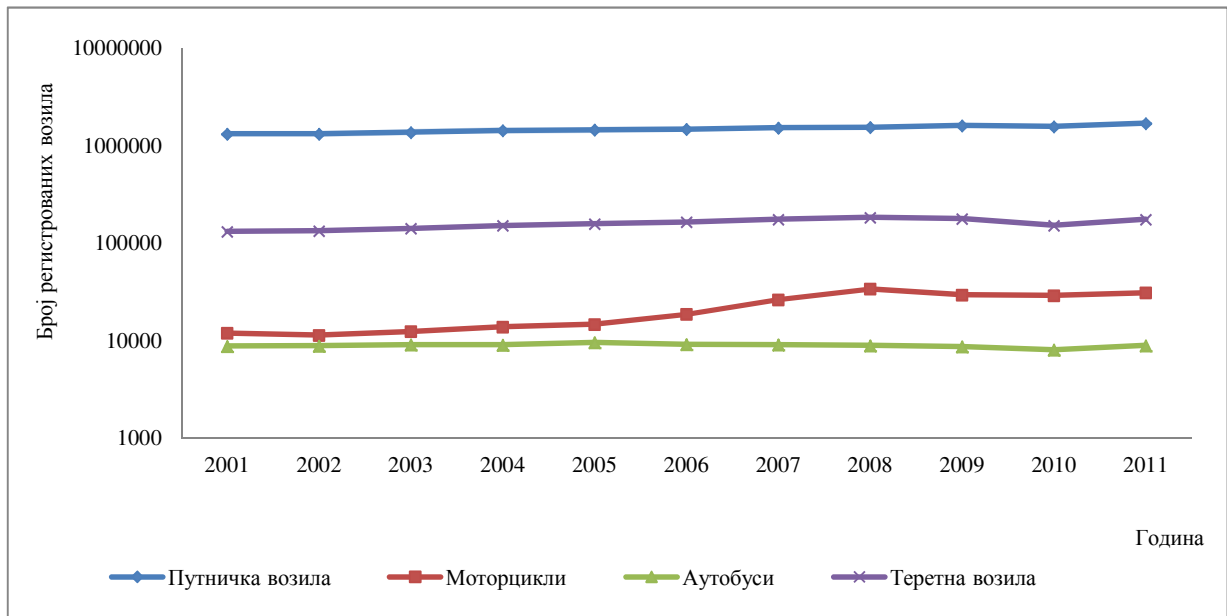
У овом делу рад је урађена квантитативна и квалитативна анализа возног парка у Србији. Разлог овакве анализе лежи у чињеници да је потребно сагледати стање и структуру возног парка на нивоу земље како би се могли заузети одређени ставови везани за дефинисање меродавних категорија возила пре свега са аспекта емитовања буке и онога што се може очекивати на терену. Подаци који су коришћени приликом ове анализе су добијени од стране Министарства унутрашњих послова Републике Србије, и то за период једног регистрационог циклуса од средине 2011. до средине 2012. године.

5.2.1. Преглед регистрованих возила у Србији

За ову анализу је усвојен период од 2000. до 2011. године без територије Косова и Метохије (табела 5.1). Од укупног броја регистрованих возила у протеклој деценији друмска моторна и прикључна возила чине око 80 % а трактори око 25 %. Ако се погледа структура друмских моторних и прикључних возила већину сачињавају путнички аутомобили (ПА) са око 85 %. У посматраном периоду број путничких аутомобила се повећао за око 40 % док је број теретних моторних возила (ТВ) и тегљача порастао за око 50 %. Што се тиче моторцикала они бележе највећи пораст и њихов број се готово удвостручио што је нарочито приметно последњих пар година. Оно што је такође, интересантно јесте број аутобуса (БУС) који бележи извесно колебање и може се рећи да последњих пар година бележе пад за око 10 %. Овде треба напоменути да услед промене методологије посматраних возила од стране Министарства унутрашњих послова у посматраном периоду потребно је одређене податке узети са резервом јер је могуће „преливање“ возила из једне у другу категорију. Ово је нарочито изражено код прикључних возила и трактора обзиром да је код прикључних возила овај пораст везан за прикључна возила носивости испод 1000 kg (аутомобилске приколице и њихову обавезу регистрације) а код трактора за јасно раздвајање радних и осталих машина од пољопривредних трактора. Током 2011. године може се приметити пораст возила свих категорија, путнички аутомобили за 8,2 %, теретни за 15,1 % у односу на број регистрованих возила у претходној години.

Табела 5.1. Преглед броја регистрованих возила у Србији од 2000 до 2010. године

Година	Путнички аутомобили	Моторцикли	Аутобуси	Теретна моторна возила	Тегљачи	Прикључна возила	Трактори
2000	1209096	9526	8424	117896	4214	13490	299544
2001	1316412	11888	8749	130967	4923	15561	300745
2002	1318606	11328	8815	133222	4702	16300	305035
2003	1366579	12325	9066	140906	4716	17589	311462
2004	1424659	13755	9032	151118	4838	19085	317331
2005	1447182	14614	9538	157605	5202	20274	321160
2006	1468471	18543	9135	164037	5513	21404	325424
2007	1521298	26203	9069	175009	5971	23508	329155
2008	1537602	33753	8874	182690	6304	25152	333795
2009	1605737	29394	8669	177470	5921	23877	332459
2010	1565550	28956	8034	151687	6296	34017	10658
2011	1693839	30827	8871	174666	6120	56619	16847
Средња вредност	1456253	20092,67	8856,33	154772,8	5393,33	23906,33	266967,9



Слика 5.4. Тренд кретања регистрованим друмских моторних и прикључних возила

5.2.1.1. Тестирање хипотезе о хомогености скупова и закону расподеле структуре возног парка

Број регистрованих моторних возила у току једне године је случајна променљива чије се карактеристичне вредности и закон расподеле могу одредити одговарајућим методама применом математичке статистике. Из тог разлога извршено је тестирање хипотезе о једнакости броја регистрованих моторних возила по годинама и врсти возила у посматраном периоду (табела 5.1). На основу тренда (слика 5.4.) и теста Студента извршена је декомпозиција основног скупа возила по врсти возила у периоду од 2001 до 2011. године као нехомогеног и одредила модификација фактора. Скуп регистрованих возила за посматрани временски интервал тестиран је дисперзионом анализом методом двоструке класификације [76]:

$$H_0(x_1=x_2=x_3=\dots=x_n). \quad (5.1)$$

За спроведену декомпозицију одређене су вредности параметара дисперзионе анализе који су приказане у табели 5.2.

Табела 5.2. Вредности параметара дисперзионе анализе са двоструком класификацијом

Варијације	Збир квадрата одступања	Број степени слободe	Средњи квадрат одступања	F - тест
Између броја возила по годинама	$q_1 = 58105603663$	$r-1=11$	$S_1^2 = 5282327606$	$F_1=1,55$
Између броја возила по категоријама	$q_2 = 1,92064 \cdot 10^{13}$	$s-1=4$	$S_2^2 = 4,8016 \cdot 10^{12}$	$F_2=1406,85$
Случајна	$q_3 = 1,50173 \cdot 10^{11}$	$(r-1)(s-1)=44$	$S_3^2 = 3413024581$	
Укупна	$q = 1,9414 \cdot 10^{13}$	$N-1=59$		

Упоредном анализом добијених вредности за F_1 и F_2 из узорка са референтним вредностима [76] се добија:

$$F_1=1,55 < F_{0,05}^{(11,44)} = 1,98, F_2=1406,85 > F_{0,05}^{(4,44)} = 2,58. \quad (5.2)$$

На основу релације 5.2 са вероватноћом од 95 % можемо закључити следеће:

- да нема значајнијих разлика по врстама тј. да број регистрованих моторних возила по годинама јесте приближно исти,
- средње годишње вредности броја регистрованих возила по годинама варирају као величине случајног карактера око средњих вредности за конкретну врсту возила (ПА, БУС, ТВ итд.),
- да постоје значајне разлике међу колонама тј. да је број регистрованих возила по категоријама возила доста различит и да се такав тренд задржава у посматраном периоду и
- број регистрованих моторних возила по врстама возила у периоду од 2001. до 2011. године представља хомоген скуп.

5.2.2. Анализа занављања флоте возила у Србији

На основу спроведене анализе о броју регистрованих моторних и прикључних возила у Србији приступило се детаљнијој анализи структуре регистрованих моторних возила. Пре свега је то из разлога јер се из укупног броја регистрованих возила по категоријама, не види старосна структура таквих возила, као ни динамика занављања флоте возила. Урађена нова анализа како би се сагледа каква нас структура возног парка очекује у неком наредном периоду преваходно у погледу старосне структуре.

Табела 5.3. Број први пут регистрованих друмских моторних и прикључних возила

Година	Путнички аутомобили	Моторцикли	Аутобуси	Теретна моторна возила	Тегљачи	Прикључна возила
2010	181992	8007	703	14572	2643	5408
2011	122498	4779	607	8677	2309	18614
2010/2011	67,3	59,7	86,3	59,5	87,4	344,2
I квартал 2011	23279	496	113	1590	572	2059
I квартал 2012	28018	837	104	1743	608	3749
I квартал 2011 / I квартал 2012	120,4	168,8	92,0	109,6	106,3	182,1

Број први пут регистрованих путничких возила у 2011. години у односу на претходну годину је мањи за 32,7 % а теретних возила за 40,5 %. Током I квартала 2012. године може се уочити раст броја први пут регистрованих моторних возила док пад бележе само аутобуси. Међутим, из овакве анализе није сасвим могуће извући закључак о каквим се возилима ради са аспекта њихове старости. Наиме тачно је да се овде ради о возилима која су први пут регистрована у Србији али се не може извући закључак да су то нова возила обзиром да је дозвољен увоз половних моторних возила која испуњавају одређене хомологацијске услове. У том смислу је неопходно направити нову анализу која ће рећи нешто више о старосној структури овако први пут регистрованих моторних возила (табела 5.4.).

Табела 5.4. Број први пут регистрованих друмских и прикључних возила чија је година производње текућа

Година	Путнички аутомобили	Моторцикли	Аутобуси	Теретна моторна возила	Тегљачи	Прикључна возила
2010	28951	374	80	2153	122	565
2011	22181	449	283	2739	338	3245
2010/2011	76,6	120,1	353,8	127,2	277	574,3

Број први пут регистрованих моторних и прикључних возила чија је година производње текућа је може се рећи, на основу узорка од две године, релативно мали. Наиме сва регистрована друмска моторна и прикључна возила чија је година производње 2011. година бележе пораст осим путничких аутомобила код којих се примећује пад од 23,4 %. Међутим, њихово учешће у укупном броју први пут регистрованих моторних возила ако упоредимо податке из табеле 5.3. и табеле 5.4. је прилично мали.

Табела 5.5. Процентуални однос броја први пут регистрованих друмских и прикључних возила чија је година производње текућа и броја први пут регистрованих друмских и прикључних возила

Година	Путнички аутомобили	Моторцикли	Аутобуси	Теретна моторна возила	Тегљачи	Прикључна возила
2010	15,91	4,67	11,38	14,77	4,62	10,45
2011	18,11	9,4	46,62	31,57	14,64	17,43

На основу података из табеле 5.5. се може уочити да је учешће нових возила у возилима која су први пут регистрована на територији Републике Србије креће, када су у питању путничка возила за посматране две године просечно око 17 % што указује на јасну чињеницу да се углавном увозе и региструју половна возила. Када су у питању теретна возила и аутобуси ситуација је ту нешто повољнија али се и овде може рећи да се ради о високом проценту половних возила.

На крају ако упоредимо укупан број регистрованих моторних возила и број нових регистрованих моторних возила (табела 5.6.), може се закључити да је тај процената веома мали (од 1 % до 5,7 %). Од укупног броја регистрованих нпр. путничких аутомобила, који уједно и представљају најбројнију групацију регистрованих возила, свега просечно око 1,6 % годишње се региструју нова возила. На основу овакве анализе није реално очекивати да ће се флота возила драстичније мењати у наредном периоду пре свега са аспекта старосне структуре.

Табела 5.6. Процентуални однос броја први пут регистрованих друмских и прикључних возила чија је година производње текућа и укупног броја регистрованих друмских и прикључних возила

	Година	Путнички аутомобили	Моторцикли	Аутобуси	Теретна моторна возила	Тегљачи	Прикључна возила
Укупан број регистрованих возила (1)	2010	1565550	28956	8034	151687	6296	34017
	2011	1693839	30827	8871	174666	6120	56619
Број нових регистрованих возила (2)	2010	28951	374	80	2153	122	565
	2011	22181	449	283	2739	338	3245
Однос (1)/(2)	2010	1,85	1,29	1,00	1,42	1,94	1,66
	2011	1,31	1,46	3,19	1,57	5,52	5,73

Комплетна анализа флоте возила која је овде приказана нам говори да је тренд занављања флоте возила у Србији веома неповољан и да се овакав неповољан тренд може очекивати и у наредном периоду. Не могу се очекивати драстичне промене у самој структури возног парка као

ни значајније промене у броју регистрованих моторних возила што је потврђено дисперзионом анализом. На основу свега овога је могуће детаљније урадити преглед постојећег стања и извести одређене закључке који важе за затечено стање.

5.2.3. Анализа старосне структуре возног парка

Структуру возног парка по основу старости је могуће класификовати на основу података које води МУП Републике Србије. Према њиховој евиденцији за регистрациони циклус од средине 2011. године па до средине 2012. године возила се структурирају на начин приказан у табели 5.7.

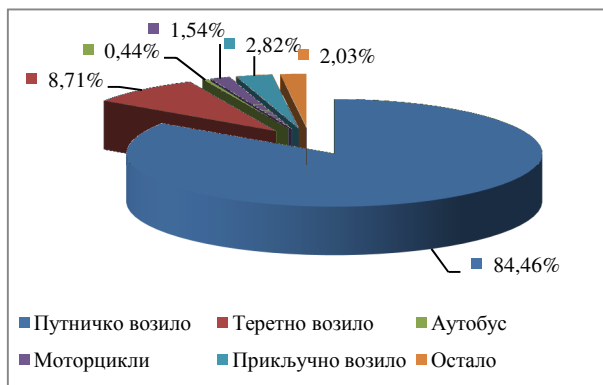
Табела 5.7. Структура возног парка на основу старости

Старост	Путничко возило	Теретно возило	Аутобус	Моторцикли	Прикључно возило	Остало	Сума по годинама
0-5	203318	31691	1702	8589	15848	13906	275054
6-10	374821	47628	2609	6573	10036	4604	446271
11-15	340628	27303	1219	6600	7683	2856	386289
16-25	568325	37934	2028	6884	13737	6648	635556
26-35	195796	25395	1264	1550	7928	9285	241218
36-45	10251	4329	46	423	1254	3080	19383
> 45	700	386	3	208	133	408	1838
Сума	1693839	174666	8871	30827	56619	40787	2005609

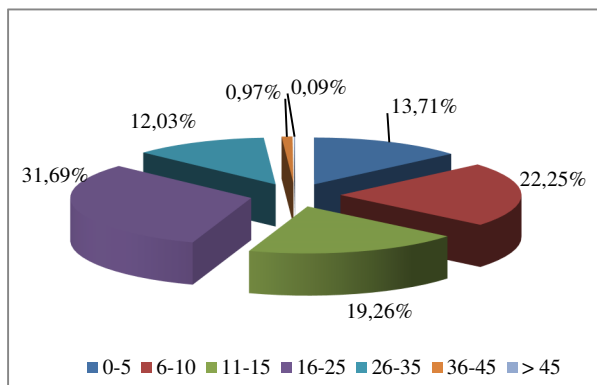
Према подацима са слике 5.5. може се уочити да најбројнију групу возила у укупном возном парку сачињавају путничка возила са око 84,5 % удела, а затим следе теретна возила са око 8,7 %, прикључна возила са око 2,8 %, моторцикли са око 1,5 %, аутобуси са око 0,4 % и остала возила која су регистрована а не припадају ни једној од наведених група око 2 %. На слици 5.6. је приказан процентуални удео возила по годинама у укупном возном парку.

Ако даље анализирамо сваку од категорија појединачно уочавамо да најзаступљенију старосну групу код путничких возила сачињавају возила старости од 16 до 25 година, која чини око 33,5 % укупног броја возила а затим следе групе од 6 до 10 година са учешћем од око 22 %, група од 11 до 15 година са учешћем од око 20 %. Занимљив је податак да свега око 12 % путничких возила припада групи до 5 година старости готово идентично као група старости од 26 до 35 година (11,56 %), (слика 5.7.). Код теретних возила је слична расподела са једином разликом у томе што најбројнија старосна група од 6 до 10 година сачињава око 27 %, а затим следе групе од 16 до 25 година (око 21 %), до 5 година (око 18 %) и од 11 до 15 година (око 16 %), (слика 5.8.).

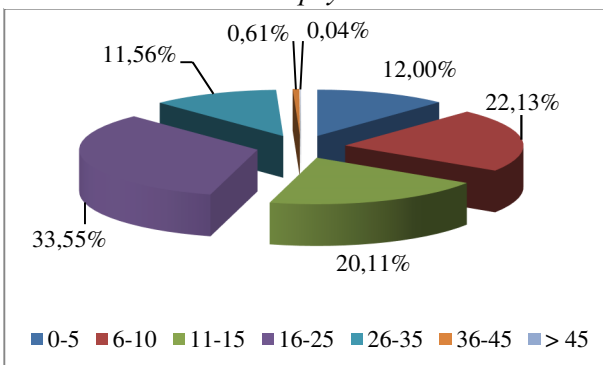
Код аутобуса најбројнија старосна група од 6 до 10 година сачињава око 30 %, а затим следе групе од 16 до 25 година (око 23 %), до 5 година (око 20 %) и од 11 до 15 година (око 14 %), (слика 5.9.). Може се уочити да је процентуална појединих старосних категорија код аутобуса веома слична расподели теретних возила.



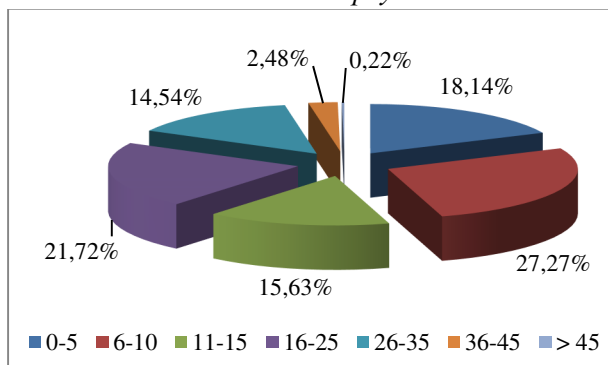
Слика 5.5. Процентуална заступљеност појединих категорија возила у укупном возном парку



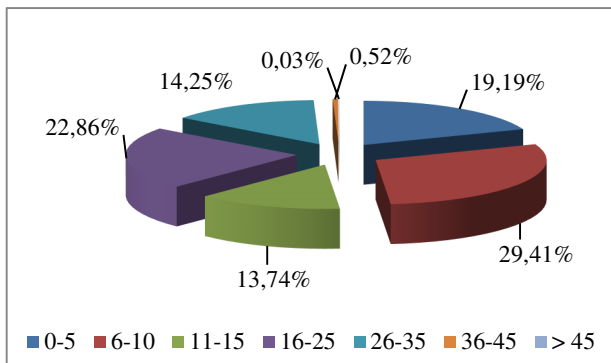
Слика 5.6. Процентуална заступљеност појединих старосних група возила у укупном возном парку



Слика 5.7. Процентуална заступљеност појединих старосних група код путничких аутомобила



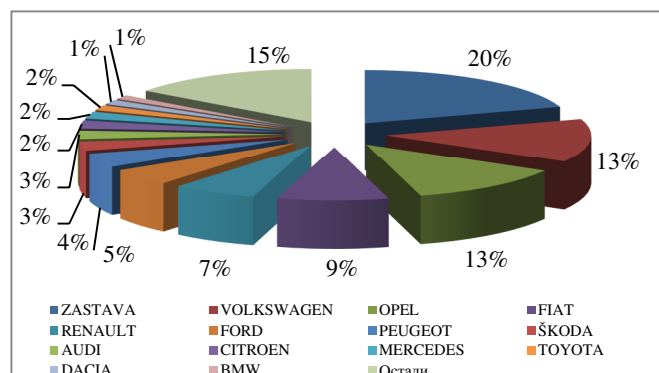
Слика 5.8. Процентуална заступљеност појединих старосних група возила код теретних возила



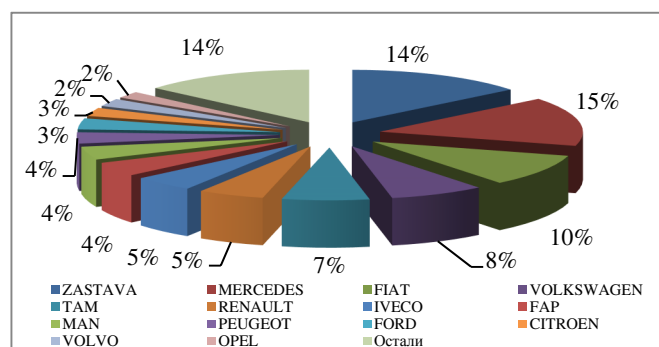
Слика 5.9. Процентуална заступљеност појединих старосних група возила код аутобуса

5.2.4. Анализа марке возила

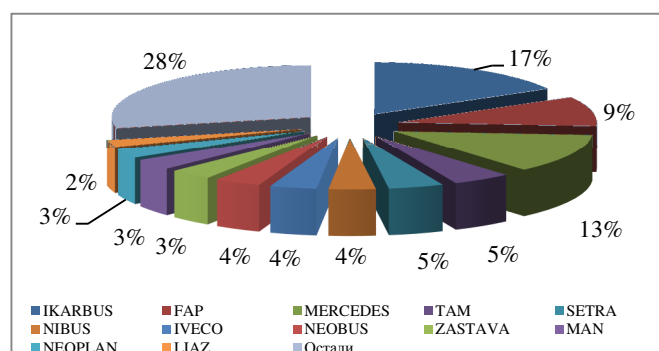
У циљу даље анализе возног парка спроведена је анализа по типу и марци возила при чему се уочава извесна заступљеност возила домаће производње. Најзаступљенија марка возила



Слика 5.10. Процентуална заступљеност појединих марци возила код путничких аутомобила



Слика 5.11. Процентуална заступљеност појединих марци возила код теретних возила



Слика 5.12. Процентуална заступљеност појединих марци возила код аутобуса

(5 %), Setra (4 %), Nibus (4 %), Iveco (4 %) и тд. Граница класирања код ове категорије возила је усвојена 200 возила, док су све остале марке возила испод ове границе сврстане у групу „остали“.

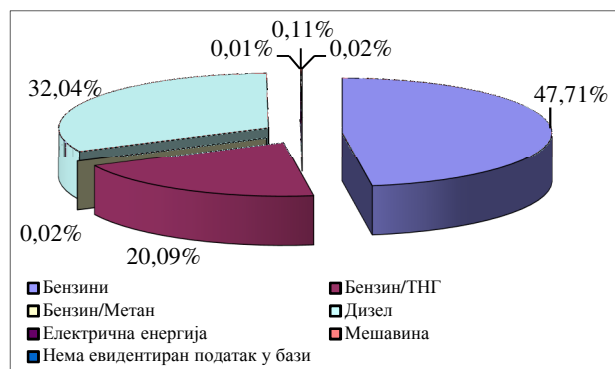
код путничког програма код нас, а према слици 5.10., јесте возило домаће производње Застава са учешћем око 20 %, а затим следе возила иностране производње Volkswagen (13 %), Opel (12 %), Fiat (9 %), Renault (7%), Ford (5 %), Peugeot (4 %), Skoda (3 %), Audi (3 %), Citroen (2 %), Mercedes (2 %) и остали са око 15 % учешћа. Граница класирања је усвојена изнад 1000 регистрованих возила док су све марке испод ове границе сврстане у групу „остали“.

Што се тиче третних возила ситуација није нешто посебно другачија (слика 5.11.). Овде је најзаступљеније возило Mercedes са учешћем од 15 % а затим следе Застава (14 %), Fiat (10 %), Volkswagen (8 %), TAM (7 %), Renault (5 %), Iveco (5 %), Fap (4%) и тд. Граница класирања је овде усвојена преко 3500 возила док су све остале марке испод ове границе сврстане у групу „остали“.

Ако анализирамо поједине марке возила када су у питању аутобуси и овде је могуће уочити сличан тренд као код путничких и теретних возила (слика 5.12.). Овде је најзаступљеније возило домаће производње Ikarbus са учешћем од 17 % а затим следе Mercedes (8 %), Fap (9 %), Там

5.2.5. Анализа врсте погонског агрегата

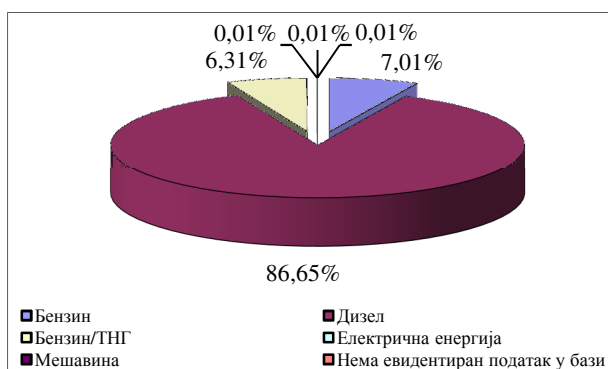
Анализа возног парка са аспекта врсте мотора је извршена према типу погонског горива. Ова анализа је извршена за три категорије возила које иначе сачињавају око 94 % возног парка. Резултати анализе су приказани на сликама 5.13, 5.14 и 5.15. Када су у питању путничка возила видимо да је најзаступљеније погонско гориво бензин са учешћем од 47,71% а затим следе дизел



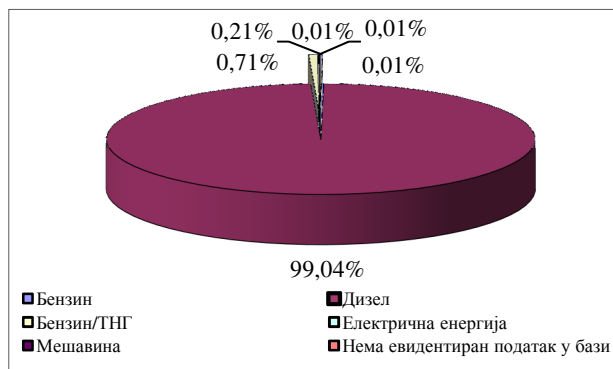
Слика 5.13. Процентуална заступљеност појединих врста горива код путничких аутомобила

горива са учешћем од 32,04%. Возила са погоном на течни нафтни гас сачињавају 20,09 %, при чему не постоји податак о томе колики је процента код ове групе са бензинским или дизел мотором обзиром да се највероватније ради о модификованим моторима. Поред ове три групе погонских горива у бази података о регистрованим моторним возилима се појављују и погонска горива бензин-метан, електрична енергија па чак и мешавина (мешавина бензина и одређеног процета уља намењену за погон двотактних мотора) као и одређен број возила код којих податак о погонском гориву није евидентиран (слика 5.13.). Оваква класификација погонског горива код путничких аутомобила је највероватније последица лошег вођења базе података. Изузимајући бензин, дизел и ТНГ сва остала горива имају учешће у овој категорији возила које је мање од 0,5 % тако да их је могуће занемарити у некој даљој анализи.

Када су у питању теретна возила видимо да је најзаступљеније погонско гориво дизел са учешћем од 86,65 % а затим следе бензини са учешћем од 7,01 %, ТНГ 6,31 % и остала горива са укупним учешћем мањим од 1 % (слика 5.14.). Када су у питању аутобуси видимо да је најзаступљеније погонско гориво дизел са учешћем од готово 99 % бензин са око 0,2 %, ТНГ са око 0,7 % и остала горива са укупним учешћем мањим од 0,1 % (слика 5.15.). И код ових категорија возила се такође, појављују погонска горива као што су електрична енергија, мешавина и возила код којих податак о погонском гориву није евидентиран што је такође, највероватније



Слика 5.14. Процентуална заступљеност појединих врста горива код теретних возила



Слика 5.15. Процентуална заступљеност појединих врста горива код аутобуса

последица лошег вођења базе података. Обзиром да је проценат оваквих возила мањи од 0,5 % могуће их је занемарити у некој даљој анализи.

Анализирајући ситуацију на читавом возном парку у Србији можемо уочити да најбројнију категорију сачињавају управо возила из старосне групе од 16 до 25 година (око 32 %) да је следећа по величини група од 26 до 35 година (око 22 %) а да затим следе групе од 11 до 15 година (око 19 %), група до 5 година (око 14 %) и на крају група од 26 до 35 година (око 12 %). Оваквој расподели највише доприносе путничка возила која су иначе и најбројнија возила у укупном возном парку (око 85 %) од чега је око 34 % старости од 16 до 25. година. Ситуација је доста слична код теретних возила и аутобуса. Може се извести закључак да је просечна старост путничких возила у Србији око 18,5 година, код теретних возила то 17,6 година, а код аутобуса је то 16,9 година што на крају дају укупну просечну старост ове три најзаступљеније категорије од око 17,7 година. Анализирајући марку и погонску групу возила приметно је да код свих категорија предњаче возила домаће производње али се такође, може приметити да је присутан велики број различитих марки возила готово свих познатијих произвођача возила. Када су у питању погонска горива, разноликост погонског горива је углавном присутна код путничких аутомобила док је код теретних возила и аутобуса ситуација нешто другачија. Ту је доминантно дизел гориво са учешћем од преко 85 % возног парка када су у питању ове категорије возила [41].

На мрежи друмских саобраћајница може се претпоставити да најчешће саобраћају, гледајући у односу на базну 2012. годину, возила домаће производње која су произведена до 1995. године. Када су у питању путничка возила онда је ту нешто померена граница и обухвата период између 1993. године и 1994. године. Што се тиче погонског агрегата ако су у питању путничка возила може се очекивати око 32 % возила са дизел агрегатима док се за остала возила може сматрати да су са бензинским агрегатом. Код теретних возила и аутобуса доминантно је учешће дизел агрегата. Оваква анализа је поставила одређене оквире онога што се може очекивати мерењем на терену када је у питању мерење буке возила.

5.3. Преглед возног парка са аспекта дозвољене емисије буке

Бука се на моторним возилима испитује од стране овлашћених лабораторија пре него што се возило пласира на тржиште. При томе свако возило мора задовољити норме које важе за емисију буке према одређеним категоријама возила. Према правилнику о подели моторних и прикључних возила и техничким условима за возила у саобраћају на путевима, дозвољени ниво буке појединих категорија возила је дефинисан али за стационарне услове (табела 5.8.) [79]. Прихватањем директиве о категоризацији моторних возила (Директива 70/157 ЕЕС) као и Правилника 51.02 ЕСЕ о нивоу буке постоји обавеза да се примењују и граничне вредности за буку појединачног возила у покрету (табела 5.9.). Чест проблем представља поистовећивање да је дозвољени ниво буке возила у покрету оно што је дефинисано Правилником о подели моторних и прикључних возила и техничким условима за возила у саобраћају на путевима а не оно што се прописује Правилником 51.02 ЕСЕ [14, 64, 77, 79, 80].

У табели 5.8. је приказана класификација и категоризација возила сходно директиви 70/157/ЕЕС о класификацији и категоризацији возила, као и границе дозвољене буке које поједине категорије возила смеју да емитују. Овде треба напоменути да се ради о граничним вредностима буке која се мери применом методе мерења буке у стационарним условима. Овакав начин мерења буке се доста разликује од поступка мерења буке возила у покрету. Проблем додатно преставаља и чињеница да се бука на техничким прегледима не може мерити пре свега јер је испитивање буке презахтевно за свакодневне послове који се обављају у овим радионицама (не могу се створити потребни услови). Утврђивање нивоа буке које емитује возило најчешће се одређује на основу субјективног запажања одговорног лица на техничком прегледу. Поред овог проблема на техничком прегледу један од проблем представља и неевидентирање овог податка у техничкој документацију о возилу која се региструју, па се сматра да возило емитује дозвољену вредност буке [14, 80].

Табела 5.8. Највише границе дозвољене спољне буке које поједине категорије возила смеју да производе у стационарним условима [79]

Ознака категорије возила	Категорија		Ознака поткатегије	Дозвољени ниво буке [dBA]
L	Мопед		L1	81
	Лаки трицикл		L2	88
	Моторцикли	са двотактним и четворотактним мотором до 125 cm ³	L3	85
		са двотактним и четворотактним мотором преко 125cm ³	L3	87
		са четворотактним мотором преко 500 cm ³	L3	89
	Моторцикл са бочним седиштем		L4	88
	Тешки трицикл		L5	88
	Лаки четвороцикл		L6	87
Тешки четвороцикли		L7	87	
M	Путничко возило		M1	87
	Лаки аутобус		M2	88
	Тешки аутобус	са снагом мотора до 147 kW	M3	92
		са снагом мотора преко 147 kW	M3	95
N	Лако теретно возило чија највећа дозвољена маса не прелази 3,5 t		N1	88
	Средње теретно возило чија највећа дозвољена маса прелази 3,5 t али не прелази 12 t	са снагом мотора до 147 kW	N2	92
		са снагом мотора преко 147 kW	N2	95
	Тешко теретно возило чија највећа дозвољена маса прелази 12 t	са снагом мотора до 147 kW	N3	92
		са снагом мотора преко 147 kW	N3	95

Обзиром да се бука возила мења када је оно у покрету, граничне вредности емисије буке возила у покрету зависно од категорије возила приказане су у табели 5.9 дефинисане према правилнику 51.02 ЕСЕ.

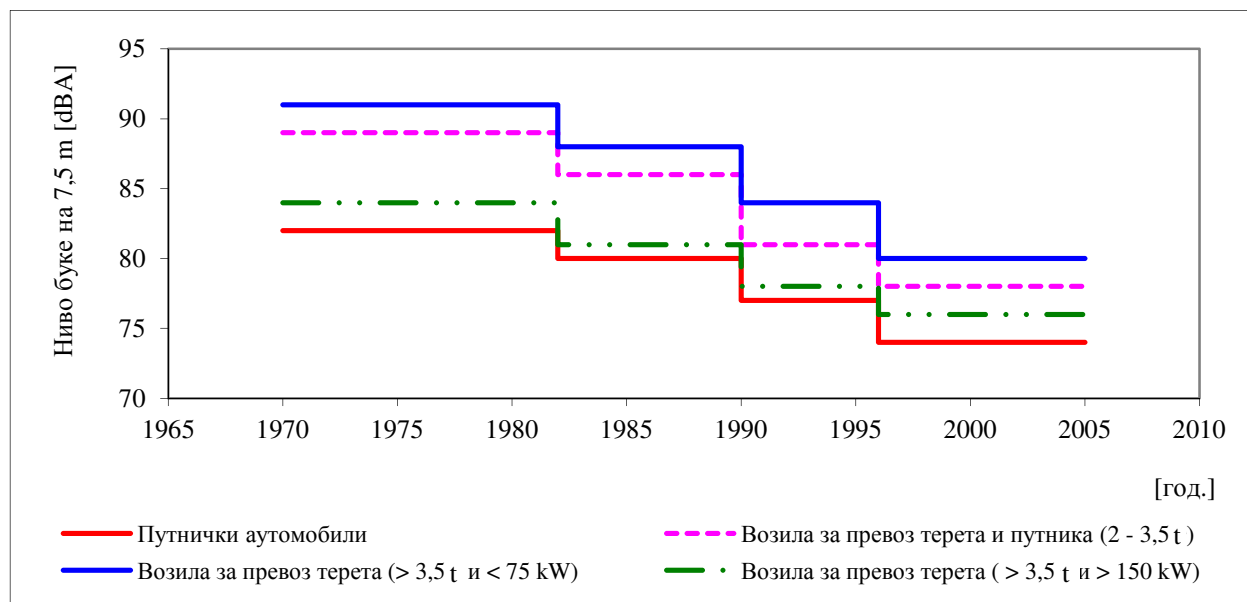
Табела 5.9. Дозвољене границе за буку према ЕСЕ 51.02 [45]

Категорија возила	Граница изражена у [dBA]
Возила намењена за превоз путника која имају мање од девет седишта укључујући и седиште возача	74 ¹
Возила намењена за превоз путника која имају више од девет седишта, укључујући и возача, а чија укупна маса прелази 3,5 t и са мотором чија је снага мања од 150 kW	78
Возила намењена за превоз путника која имају више од девет седишта, укључујући и возача, а чија укупна маса прелази 3,5 t са мотором чија снага није мања од 150 kW	80
Возила намењена за превоз путника која имају више од девет седишта, укључујући и возача као и возила за превоз терета чија укупна маса не прелази 2 t	76 ¹
Возила намењена за превоз путника која имају више од девет седишта, укључујући и возача као и превоз терета чија укупна маса прелази 2 t али не прелази 3,5 t	77 ¹
Возила за превоз терета чија укупна маса прелази 3,5 t и чија је снага мотора мања од 75 kW	77
Возила за превоз терета чија укупна маса прелази 3,5 t и чија снага није мања од 75 kW а мања је од 150 kW	78
Возила за превоз терета чија укупна маса прелази 3,5 t и чија снага није мања од 150 kW	80

¹ Возила ове категорије која су опремљена моторима са директним убризгавањем и турбо пуњачима граница буке треба бити већа за 1 dBA

Проблем који се овде одмах може уочити је тај да поступак мерења буке возила у покрету по тест методи (Тест метода А) не одсликава најбоље ниво буке возила у реалним условима. Поред овог проблема не постоји законска обавеза власника возила да у периоду експлоатације возила ниво емитоване буке одржава у границама испод прописаних овим правилником. Овде се испуњава само почетна законска обавеза да возило добије оговарајући сертификат о хомологацији сматрајући да се ниво такве буке возила у покрету у каснијим фазама експлоатације неће мењати. Међутим, то није случај пре свега због самих контролисаних услова спровођења тест методе али и због чињенице да се променом одређених елемената на возилу може утицати на ниво генерисане буке (нпр. промена величине и типа пнеуматика, издувног система и тд.). Управо из ових разлога је Европска Унија предложила ревизију постојеће методе и проналажење нове која би мерење буке више приближила реалним условима кретања возила (Тест метода Б) [57]. Међутим, и у предлогу нове методе се не предвиђа обавеза контролисања ове буке у каснијем периоду експлоатације самог возила као што је то случај на пример код контроле емисије издувних гасова. Практично контрола буке коју емитује возило је препуштено техничким прегледима возила. Како је већ речено, она се контролише једино у оним случајевима када емисија буке превазилази субјективни осећај лица које врши технички преглед. Међутим, чак и кад би се спроводио поступак мерења буке на техничким прегледима, он би се односио на буку у стању мировања возила при чему то не би био репрезентативни показатељ буке возила у реалним условима кретања. Поред недостатка саме методе у погледу мерења не треба занемарити и чињеницу самог приступа возача овом проблему у фазама тестирања и реалним условима.

Анализом Директиве 70/157 ЕЕС [77] може се приметити да се хомологацијски захтеви за буком могу утврђивати и према годинама производње возила, а на основу датума промене директиве, односно према годинама ступања на снагу измене. Развој саме директиве као и промене граница дозвољеног емитовања буке је приказана на слици 5.16.



Слика 5.16. Графички приказ измене директиве 70/157/ЕЕС према годинама ступања на снагу

На бази године примене директиве могуће је формирати табелу 5.10. односно табелу 5.11.

Табела 5.10. Развој директиве са границама промене дозвољене вредности емитоване буке

Возила произведена пре 1970. године	Не постоје границе за емисију буке
Возила произведена од 1970 до 1982. године	Границе за емисију буке - колона 4 у табели 1
Возила произведена од 1983 до 1989 .године	Границе за емисију буке - колона 3 у табели 1
Возила произведена од 1990 до 1996 .године	Границе за емисију буке - колона 2 у табели 1
Возила произведена након 1997. године	Границе за емисију буке - колона 1 у табели 1

Табела 5.11. Дозвољене границе за буку према години производње возила

Категорија возила	Граница изражена у [dBA]	Граница изражена у [dBA]	Граница изражена у [dBA]	Граница изражена у [dBA]
	1	2	3	4
Возила намењена за превоз путника која имају мање од девет седишта укључујући и седиште возача, М1 - категорија	74	77	80	82
Возила намењена за превоз путника која имају више од девет седишта, укључујући и возача, а чија укупна маса прелази 3,5 t и са мотором чија је снага мања од 150 kW, М2 - категорија	78	81	86	89
Возила намењена за превоз путника која имају више од девет седишта, укључујући и возача, а чија укупна маса прелази 3,5 t са мотором чија снага није мања од 150 kW, М3- категорија	80	84	88	91
Возила намењена за превоз путника која имају више од девет седишта, укључујући и возача као и возила за превоз терета чија укупна маса не прелази 2 t, N1 и M2 - категорија	76	78	81	84
Возила намењена за превоз путника која имају више од девет седишта, укључујући и возача као и превоз терета чија укупна маса прелази 2 t али не прелази 3,5 t, M2 и N2 - категорија	77	78	81	84
Возила за превоз терета чија укупна маса прелази 3,5 t и чија је снага мотора мања од 75 kW, N2 - категорија	77	81	86	89
Возила за превоз терета чија укупна маса прелази 3,5 t и чија снага није мања од 75 kW а мања је од 150 kW, N2 и N3 - категорија	78	81	86	89
Возила за превоз терета чија укупна маса прелази 3,5 t и чија снага није мања од 150 kW, N2 и N3 - категорија	80	84	88	91

На основу овако дефинисаних граница могуће је условно речено одредити удео возног парка у Србији према захтевима хомологације обзиром на граничне вредности за буку (табела 5.12). Оваква анализа показује могуће стање возног парка са аспекта емитовања максималних

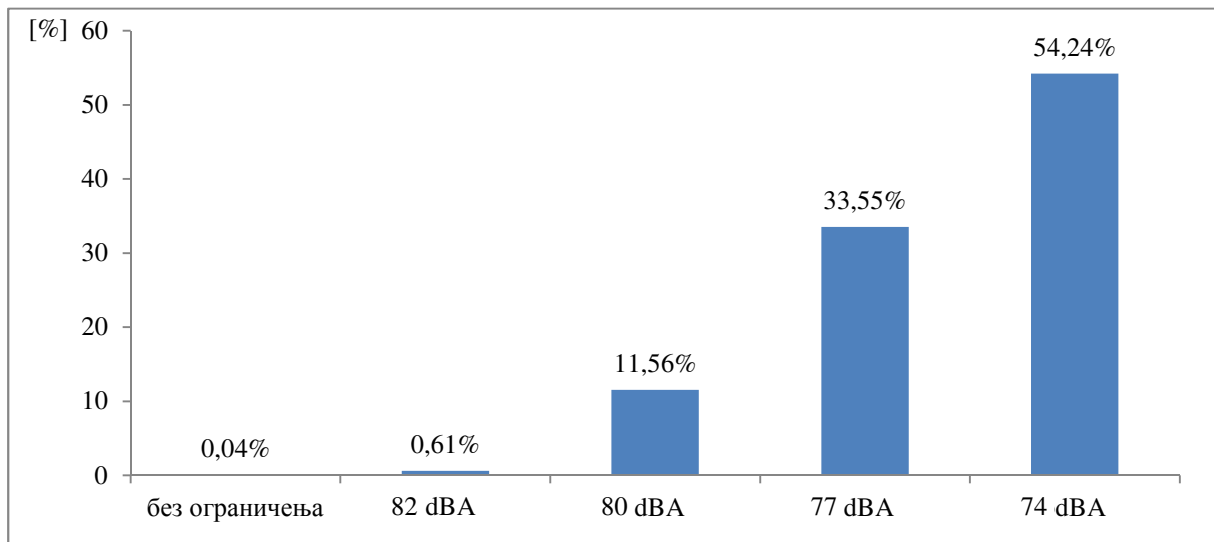
вредности буке, под претпоставком да возила која се налазе у саобраћају не емитују веће нивое буке од прописаних. Допринос овакве анализе лежи у чињеници оквирног сагледавања ситуације коју је могуће очекивати на некој посматраној локацији у погледу емисије одређених вредности буке која настаје од возила која учествују у саобраћају [81].

Табела 5.12. Удео возног парка са аспекта дозвољених вредности емитовања буке према старости возног парка

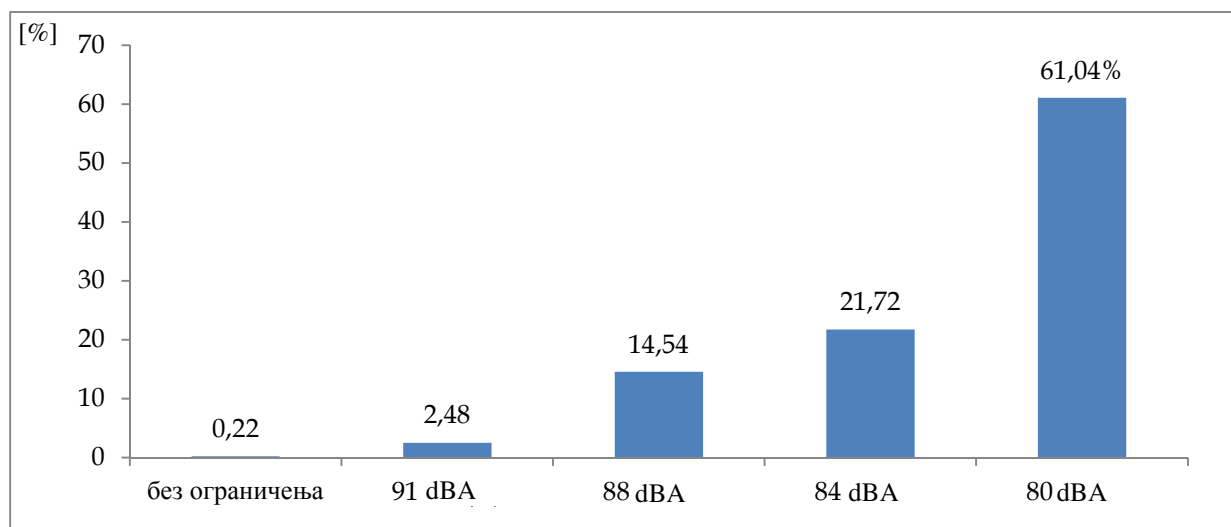
Година производње	Путничка возила	Граница за емисију буке [dBA]	[%]	Теретна возила	Граница за емисију буке [dBA]	[%]	Аутобуси	Граница за емисију буке [dBA]	[%]
старија од 1970	700	-	0,04	386	-	0,22	3	-	0,03
1970 до 1982	10251	82	0,61	4329	91	2,48	46	91	0,52
1983 до 1989	195796	80	11,56	25395	88	14,54	1264	88	14,25
1990 до 1996	568325	77	33,55	37934	84	21,72	2028	84	22,86
новија од 1997	918767	74	54,24	106622	80	61,04	5530	80	62,34
Просек		75,72			82,12			82,1	
Сума	1693839		100	174666		100	8871		100

Посматрајући број возила М и N категорије (путнички аутомобили, теретна возила и аутобуси, табела 5.12) може се уочити да је највећи део возног парка управо онај који потенцијално емитује најмању вредност буке према прописаним граничним вредностима. Возила која неконтролисано емитују буку (возила која су произведена пре 1970. године) учествују у малом и готово занемарљивом броју у укупном броју возила (могло би се рећи да су ово олд – тајмери које возачи негују и одржавају пре свега због своје историјске вредности). Такође, возила која су произведена између 1970 и 1982. године учествују са малим уделом у укупном возном парку тако да ни она не могу бити репрезентативни узорак. Возила која су произведена након 1982. године у било којој посматраној категорији су довољно велики узорак за прецизнију анализу. На сликама 5.16, 5.17 и 5.18 је дато процентуално учешће граничних емисија појединих категорија возила која учествују у саобраћају. Може се уочити да возила категорије М (осим категорије М1) и категорије N (евентуално без категорије N1) емитују виши ниво буке него што је то случај код возила категорије М1 и N1 (путнички аутомобили и лака теретна возила). Оно што је ипак охрабрујуће је чињеница да у свим категоријама најбројнију групу сачињавају возила која емитује најмању вредност буке за ту категорију возила – код М1 и N1 категорије то је 74 dBA (око 55 % укупног броја путничких возила) а код категорија М2, М3, N2 и N3 то су граничне вредности од 80 dBA (око 62 % теретних возила и аутобуса). Овде треба имати на уму да када су у питању аутобуси њихов укупан број од око 8900 на ниво читаве земље је ипак мали, што за последицу има то да ће њихово учешће у мереном саобраћајном току у току неког временског интервала бити релативно мало и неће бити меродаван за исправно тумачење резултата. Њихово учешће у укупном возном парку је око 0,5 %. Охрабрујући податак је да су код свих категорија најбројнија возила која емитују најмању вредност буке што указује на могућност доношења закључка да емитована бука не би требало да премашује ове граничне вредности за сваку од анализираних категорија. Међутим, треба имати на уму да групе возила која су новија од 1997. године су обухватиле возила старости 0 - 5 година, 6 - 10 година и 11 - 15 година, при чему су групе од 0 - 5

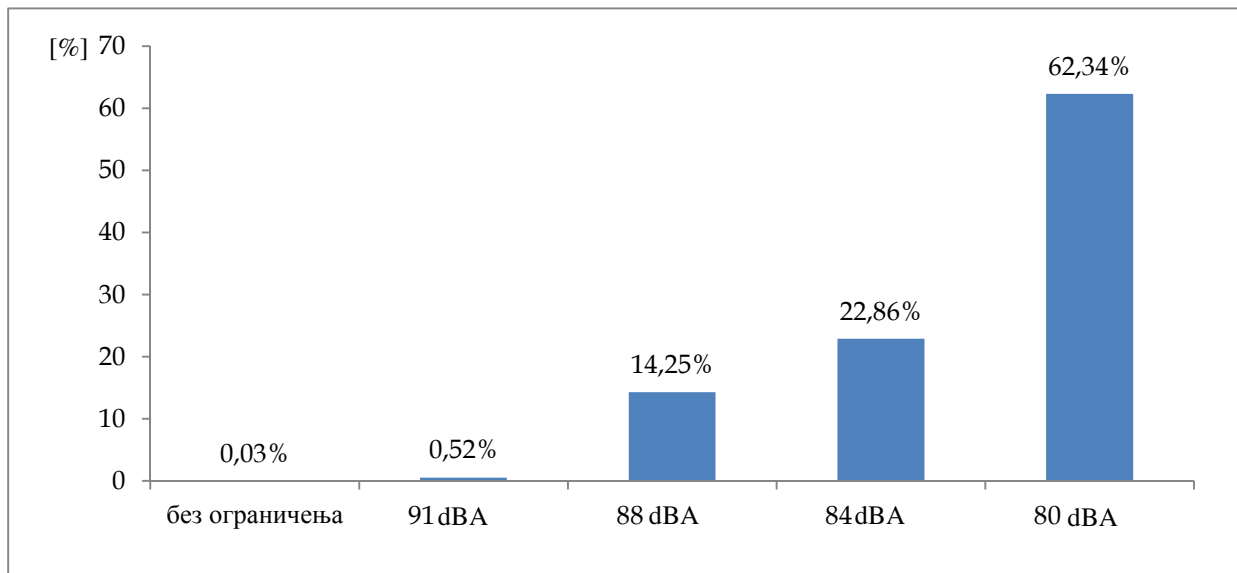
година старости код свих посматраних категорија у распону од 12 % до 20 % , а да остатак од 40 % код свих категорија припадају старосној граници од 6 до 15 година. Може се очекивати смањење учешћа возила која емитују најмању вредност буке, на рачун повећања учешћа возила која емитују већи ниво буке. Прелазак возила из једне у другу граничну област није могуће. Разлог овога лежи у чињеници да је граница емитовања буке везана за годину производње возила а не за старост возила. Оно што је могуће да се догоди у наредном периоду јесте поштравање граничних вредности за емисију буке кроз увођење нових граничних вредности за возила произведена после неке дефинисане године. Возни парк у Србији неће моћи да испрати такве промене пре свега због самог тренда кретања набавке нових возила о чему је било речи раније. На основу овако спроведене анализе могуће је дефинисати просечне вредности буке појединих категорија возила које је могуће на неки начин очекивати на конкретној локацији под претпоставком да је старосна дистрибуција слична дистрибуцији читавог возног парка земље.



Слика 5.17. Процентуални удео дозвољених вредности емитовања буке код путничких



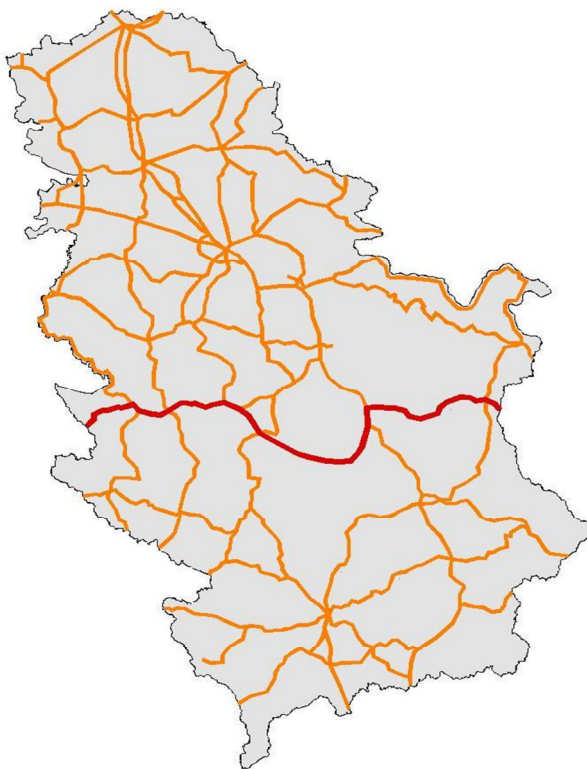
Слика 5.18. Процентуални удео дозвољених вредности емитовања буке код теретних возила



Слика 5.19. Процентуални удео дозвољених вредности емитовања буке код аутобуса

5.4. Истраживање параметара саобраћајног тока

Један од циљева овог рада јесте и дефинисање одговарајуће структуре саобраћајног тока



Слика 5.20. Положај државног пута првог реда М5

значајне са аспекта емисије буке. Таква анализа је прво урађена на нивоу читавог возног парка Србије а у овом делу рада је извршено експериментално истраживање структуре возног парка на конкретној локацији. Разлог овог истраживања је потврда одређених претпоставки изнетих у претходним тачкама, а која се односе на структуру возила у једном саобраћајном току. У том правцу на делу државног пута првог реда М5 вршена су мерења саобраћајног тока.

Државни пут првог реда М5 налази се у средишњем делу Србије, који повезује простор средишње Србије правцем запад-исток.

Посматрана саобраћајница има укупну дужину од 341 km и протеже се од Котромана (граница са Републиком Српском) до Вршке Чуке (граница са Бугарском). Пут у целости припада подручју Србије, у оквиру области Поморавља и Тимочке крајине. Пут М5 је део Европског пута Е763. Постојећи пут М5 је са две саобраћајне траке, на коме се одвија двосмерни мешовити саобраћај. По важећем просторном плану Републике

Србије предвиђено је унапређење датог пута у ауто-пут у делу западно од Појата. Конкретна мерења су вршена на деоници Чаири – Стопања непосредно у зони града Трстеника.

Мерења параметра саобраћајног тока су вршена у периоду од 7 дана почетком Јуна месеца у временском интервалу од 01 h до 24 h помоћу аутоматског бројача саобраћаја QLTC – 10 С. Површина коловоза у зони мерења је урађена од савременог битуминизарног асфалта стандардне гранулације са ширином саобраћајне траке у зони мерења 3,5 m и бочним сметњама од око 1,5 m. На том делу пута постоји јасно дефинисана хоризонтална и вертикална сигнализација. Резултати мерења биће искоришћени ради дефинисања потребних улазних података у сам модел за предикцију саобраћајне буке.

У току мерења су прикупљани подаци пре свега који приказују структуру тока при чему су возила класификована на основу класификације коју врши аутоматски бројач саобраћаја:

- моторцикли (A_0),
- путнички аутомобили и путнички аутомобили са приколицом (A_1),
- комби возила и комби возила са приколицом (A_2),
- лако теретно возило и лако теретно возило са приколицом (B_1),
- камион (B_2),
- тешко теретно возило (B_3),
- камион са приколицом (B_4),
- тегљач са полуприколицом (B_5),
- аутобус (C_1),
- зглобни градски аутобус (C_2) и
- неклассификовано возило (X).

Осим ових података везаних за структуру саобраћајног тока анализирани су још и подаци везани за:

- број возила по сатима, односно данима у посматраном периоду,
- параметри саобраћајног тока (брзина, проток, заузеће петље и тд.) као и просторна дистрибуција токова по смеровима.

Због обима измерених података приказаће се само обједињени подаци по појединим данима у посматраном периоду мерења (табела 5.13. и 5.14.)

Табела 5.13. Структура и статистика саобраћајног тока према подацима са аутоматског бројача по данима у периоду од 7 дана

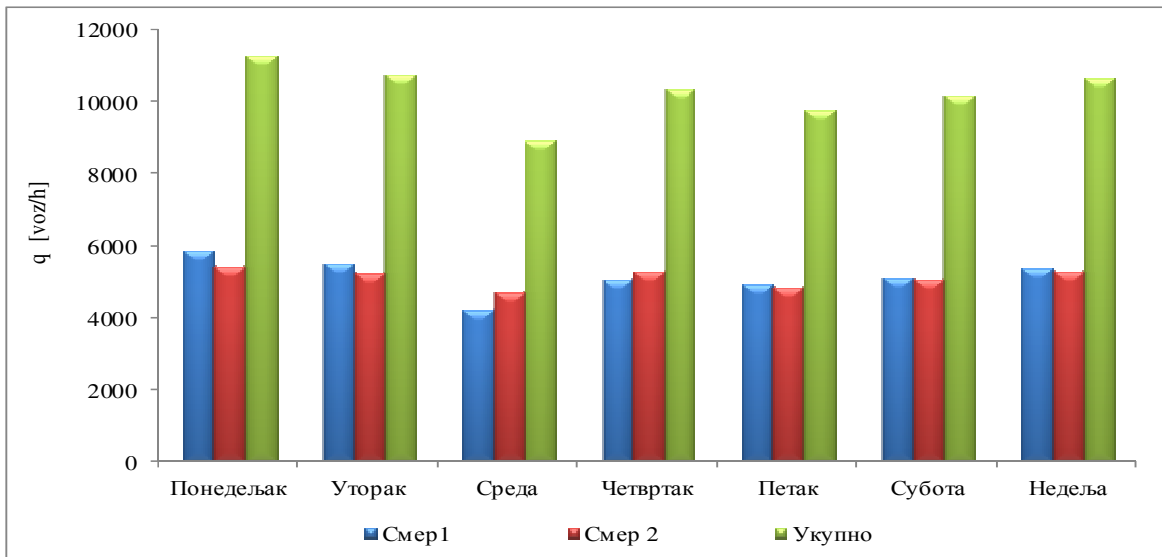
Дани	Смер	Структура саобраћајног тока [voz/dan]											Статистика				
		A0	A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	XX	Сума	Мин	Мах	Просек	Ст. одступа.
Понедељак	смер 1	18	4801	348	94	160	67	78	210	97	0	1	5874	0	300	36,91	87,88
	смер 2	28	4452	338	94	153	83	55	174	79	0	1	5457	0	655	68,91	194,59
	Укупно	46	9253	686	188	313	150	133	384	176	0	2	11331	0	955	105,82	282,28
Уторак	смер 1	33	4727	274	76	113	44	47	157	78	1	5	5555	0	204	26,09	59,44
	смер 2	36	4467	253	67	101	70	52	132	86	0	3	5267	0	537	54,55	160,08
	Укупно	69	9194	527	143	214	114	99	289	164	1	8	10822	1	741	80,64	219,3
Среда	смер 1	40	3752	142	39	52	17	38	86	66	0	0	4232	0	196	25,64	57,25
	смер 2	58	4161	169	37	42	23	42	115	71	1	2	4721	0	359	38,82	106,33
	Укупно	98	7913	311	76	94	40	80	201	137	1	2	8953	0	555	64,45	163,3
Четвртак	смер 1	32	4220	296	72	124	63	51	159	82	0	1	5100	0	155	22,73	45,24
	смер 2	40	4409	277	75	112	67	66	165	85	0	6	5302	0	206	25,27	60,27
	Укупно	72	8629	573	147	236	130	117	324	167	0	7	10402	0	361	48	105,04
Петак	смер 1	27	3945	304	82	186	83	65	199	86	0	2	4979	0	189	28,73	54,85
	смер 2	32	3893	255	100	154	95	61	185	80	1	0	4856	0	202	30,73	57,95
	Укупно	59	7838	559	182	340	178	126	384	166	1	2	9835	0	391	59,45	112,41
Субота	смер 1	38	4206	285	82	134	87	57	187	81	0	3	5160	0	506	63,09	148,07
	смер 2	44	4118	276	83	136	78	66	187	88	0	2	5078	0	350	50	100,92
	Укупно	82	8324	561	165	270	165	123	374	169	0	5	10238	0	856	113,09	248,85
Недеља	смер 1	45	4467	307	88	146	49	55	179	85	1	2	5424	0	1917	200,18	570,04
	смер 2	56	4383	265	86	145	68	70	154	76	1	3	5307	0	871	107,91	254,94
	Укупно	101	8850	572	174	291	117	125	333	161	2	5	10731	0	2788	308,09	824,42
Сума	смер 1	233	30118	1956	533	915	410	391	1177	575	2	14	36324	0	1376	155,64	405,74
	смер 2	294	29883	1833	542	843	484	412	1112	565	3	17	35988	1	1191	133,27	351,62
	Укупно	527	60001	3789	1075	1758	894	803	2289	1140	5	31	72312	1	2567	288,91	757,26
Просек	смер 1	33,29	4302,57	279,43	76,14	130,71	58,57	55,86	168,14	82,14	0,29	2	5189,14	1	1544	167	457,52
	смер 2	42	4269	261,86	77,43	120,43	69,14	58,86	158,86	80,71	0,43	2,43	5141,14	0	1386	152,27	409,95
	Укупно	75,29	8571,57	541,29	153,57	251,14	127,71	114,71	327	162,86	0,71	4,43	10330,29	1	2930	319,27	867,43
Станд. одступање	смер 1	8,94	387,89	64,92	17,91	42,26	24,25	12,89	41,1	9,34	0,49	1,63	520,76	0	1767	191	523,99
	смер 2	11,49	216,46	49,97	20,97	40,07	22,64	9,81	27,11	6,05	0,53	1,9	267,96	1	1617	176,36	478,85
	Укупно	19,98	572,38	113,16	38,11	81,62	45,49	18,68	65,92	12,32	0,76	2,51	770,25	1	3384	367,36	1002,81
Мин	смер 1	18	3752	142	39	52	17	38	86	66	0	0	4232	0	1789	191,36	530,75
	смер 2	28	3893	169	37	42	23	42	115	71	0	0	4721	0	1805	199,64	533,56
	Укупно	46	7838	311	76	94	40	80	201	137	0	2	8953	0	3594	391	1064,24
Мах	смер 1	45	4801	348	94	186	87	78	210	97	1	5	5874	0	1885	204,36	558,57
	смер 2	58	4467	338	100	154	95	70	187	88	1	6	5457	0	1807	198,91	534,59
	Укупно	101	9253	686	188	340	178	133	384	176	2	8	11331	0	3692	403,27	1093,09

Табела 5.14. Остале карактеристике саобраћајног тока према подацима са аутоматског бројача по данима у периоду од 7 дана

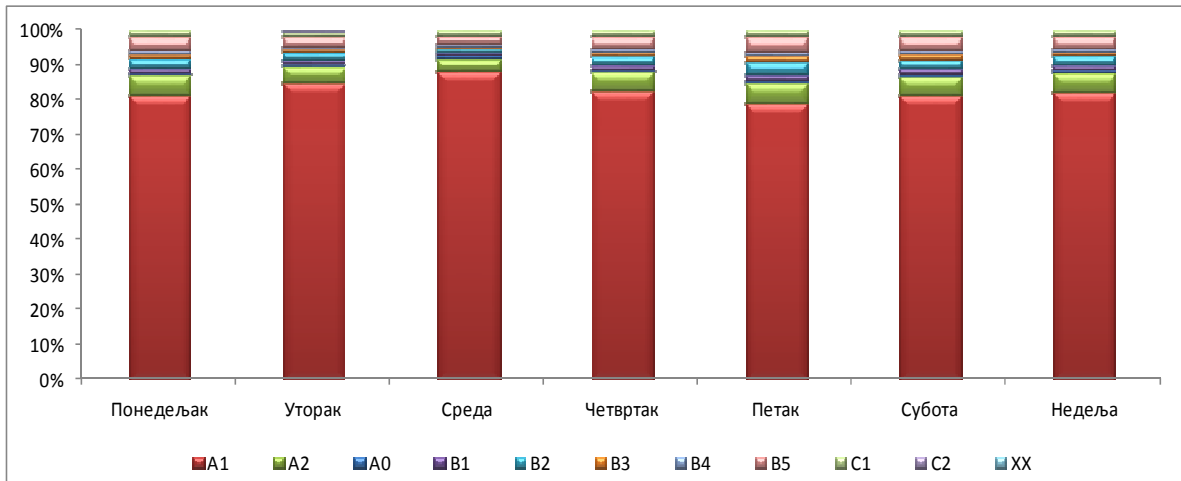
		Понедељак	Уторак	Среда	Четвртак	Петак	Субота	Недеља	Мин	Мах	Просек	Стандардно одступање
V _{min} [km/h]	смер 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	смер 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	просек	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
V _{max} [km/h]	смер 1	157	157	180	172	138	190	133	133	190	161	21,09
	смер 2	133	157	180	133	133	144	138	133	180	145,43	17,56
	просек	145	157	180	152,5	135,5	167	135,5	135,5	180	153,21	16,42
V _{avg} [km/h]	смер 1	65,67	65,92	68,38	66,08	65,42	65,67	65,88	65,17	68,38	66,07	1,06
	смер 2	68,46	68,29	69,88	68,33	67,92	68,75	68,79	67,92	69,88	68,63	0,62
	просек	66,81	67,10	69,13	67,21	66,67	67,21	67,33	66,67	69,13	67,35	0,82
V _{ра} [km/h]	смер 1	66,13	66,71	68,96	67	66,75	67,04	66,83	66,13	68,96	67,06	0,89
	смер 2	69,42	68,83	70,29	69	68,79	70,04	69,79	68,79	70,29	69,45	0,6
	просек	67,77	67,77	69,63	68	67,77	68,54	68,31	67,77	69,63	68,26	0,67
ОСС [%]	смер 1	26,46	22,25	25,83	28,67	31,38	30,92	27,71	22,25	31,38	27,6	3,15
	смер 2	28,83	21,38	22,42	22,46	37,08	36,88	30,46	21,38	37,08	28,5	6,73
	просек	27,65	21,81	24,13	25,56	34,23	33,89	29,08	21,81	34,23	28,05	4,73

Табела 5.15. Статистички подаци саобраћајног тока према подацима са аутоматског бројача по сатима у току дана у периоду од 7 дана

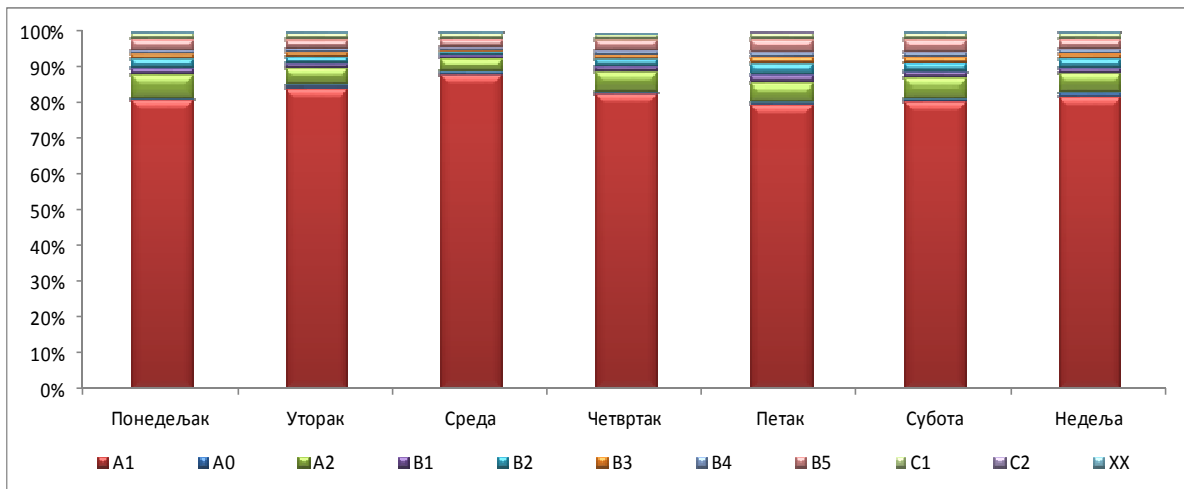
Показатељи	Смер	Структура тока [voz/h]											Статистика по сатима				
		A0	A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	XX	Сума	Мин	Мах	Просек	Ст. одступање
Укупан проток	смер 1	233	30118	1956	533	915	410	391	1177	575	2	14	36324	2	30118	3302,18	8911,7
	смер 2	294	29883	1833	542	843	484	412	1112	565	3	17	35988	3	29883	3271,64	8841,18
	Укупно	527	60001	3789	1075	1758	894	803	2289	1140	5	31	72312	5	60001	6573,82	17752,8
Просечна вредност протока по сатима	смер 1	9,71	1254,92	81,5	22,21	38,13	17,08	16,29	49,04	23,96	0,08	0,58	1513,5	0,08	1254,92	137,59	371,32
	смер 2	12,25	1245,13	76,38	22,58	35,13	20,17	17,17	46,33	23,54	0,13	0,71	1499,5	0,13	1245,13	136,32	368,38
	оба смера	21,96	2500,04	157,88	44,79	73,25	37,25	33,46	95,38	47,5	0,21	1,29	3013	0,21	2500,04	273,91	739,7
Стандардно одступање	смер 1	7,74	664,26	38,41	13,34	19,67	11,12	5,31	23,49	13,38	0,28	0,93	766,66	0,28	664,26	72,54	196,56
	смер 2	9,9	658,05	43,06	15,21	20,95	13,28	6,33	18,87	11,95	0,34	0,91	771,7	0,34	658,05	72,62	194,51
	оба смера	16,38	1267,72	80,01	25,83	39,31	22,17	9,7	40,43	22,7	0,41	1,49	1487,43	0,41	1267,72	138,74	375,1
Минимална вредност протока	смер 1	0	155	24	3	13	3	6	13	3	0	0	250	0	155	20	45,39
	смер 2	0	202	12	2	6	4	3	14	6	0	0	278	0	202	22,64	59,67
	оба смера	1	361	36	9	19	7	19	27	10	0	0	528	0	361	44,45	105,62
Максимална вредност протока	смер 1	25	1917	147	53	72	45	26	94	51	1	3	2271	1	1917	221,27	563,98
	смер 2	30	2689	136	54	71	44	30	77	56	1	3	3156	1	2689	290,09	796,51
	оба смера	46	4272	274	80	135	68	50	156	99	1	5	5089	1	4272	471,45	1262,86



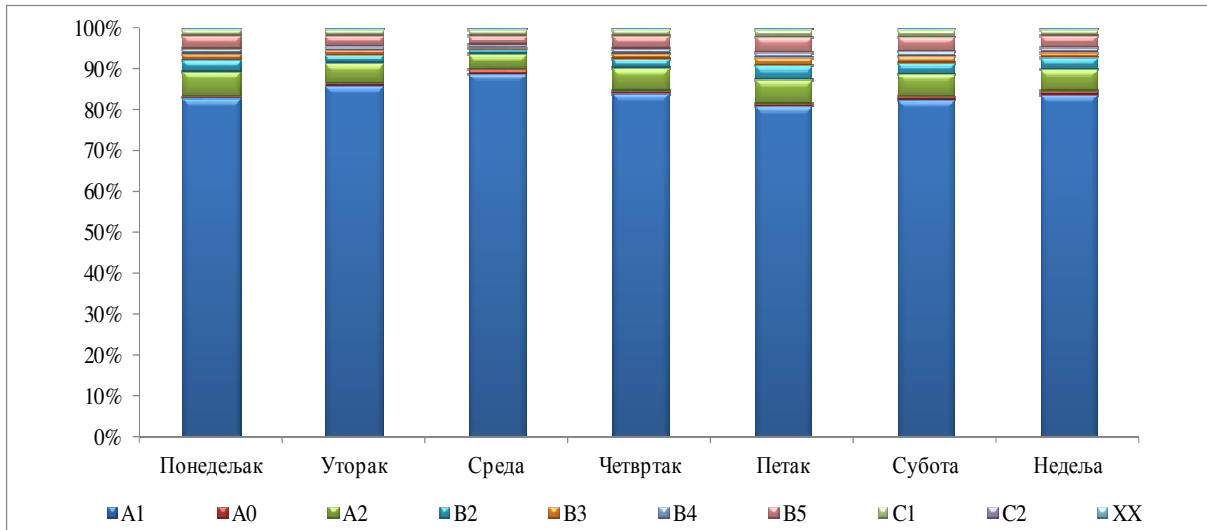
Слика 5.21. Проток саобраћаја по данима за период од 7 дана



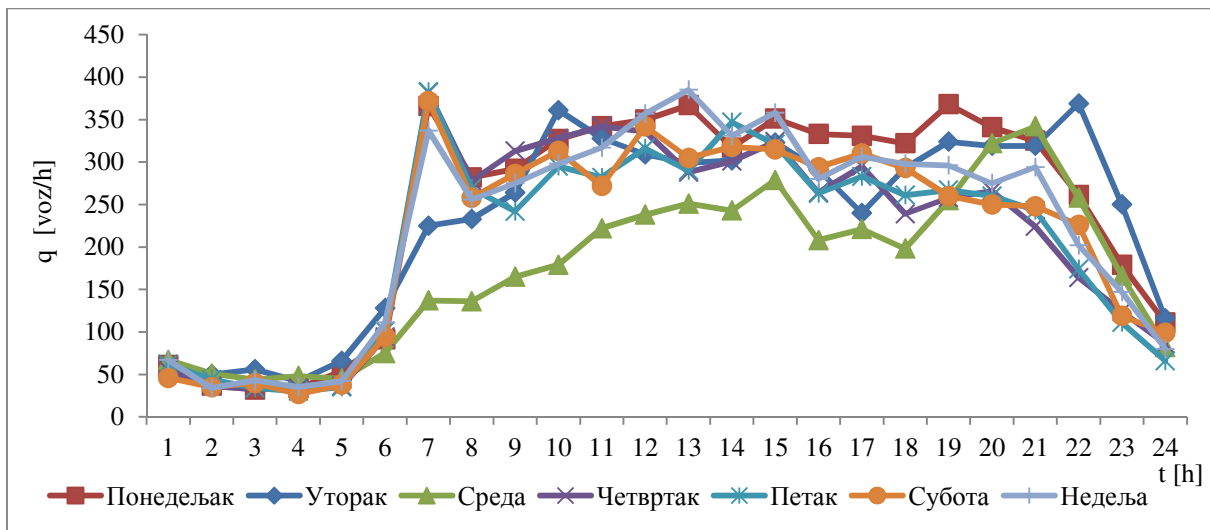
Слика 5.22. Процентуално кретање структуре тока по данима за период од 7 дана у смеру 1



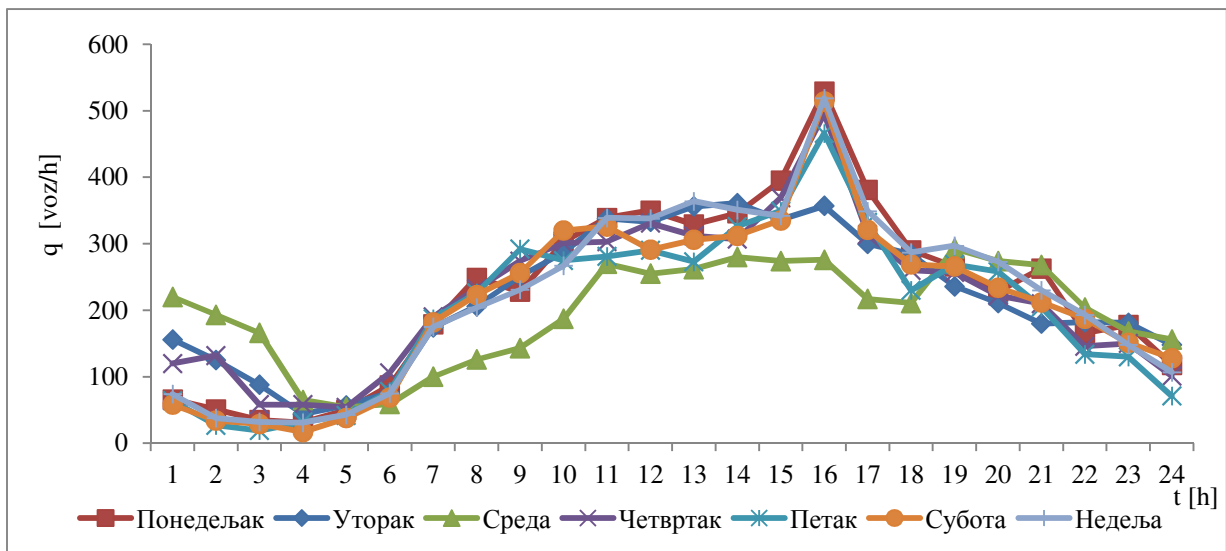
Слика 5.23. Процентуално кретање структуре тока по данима за период од 7 дана у смеру 2



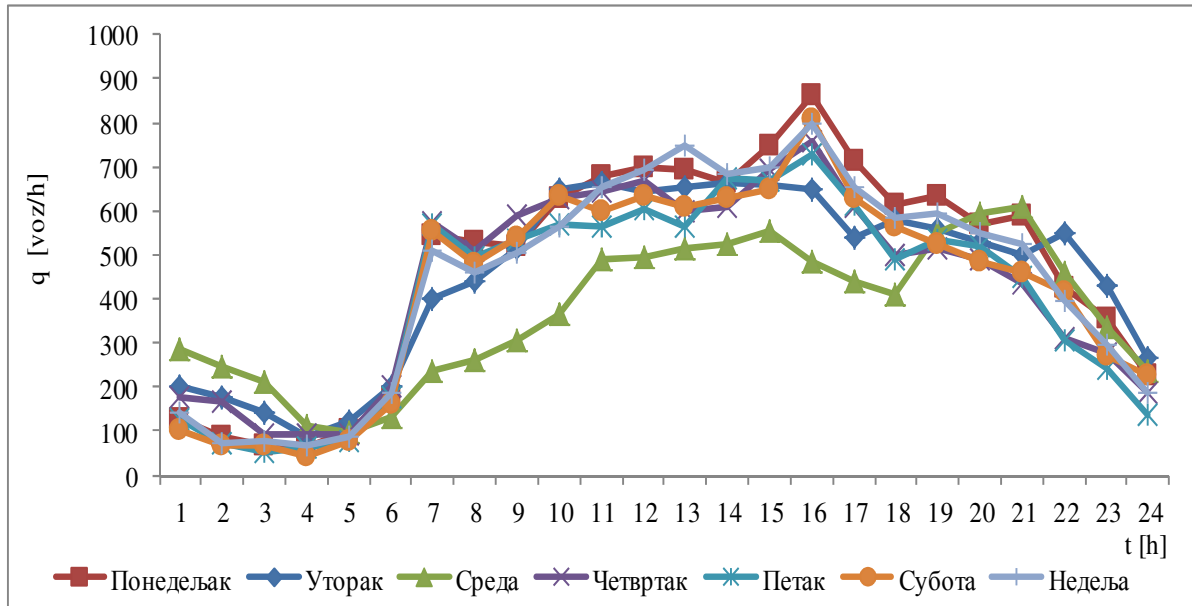
Слика 5.24. Процентуално кретање структуре тока по данима за период од 7 дана у оба смера



Слика 5.25. Проток саобраћаја по сатима за период од 7 дана у смеру 1



Слика 5.26. Проток саобраћаја по сатима за период од 7 дана у смеру 2



Слика 5.27. Проток саобраћаја по сатима за период од 7 дана у оба смера

5.4.1. Тестирање хипотезе о хомогености скупова структуре возног парка по данима у току недеље

Број возила који је сниман на терену је случајна променљива чије се карактеристичне вредности могу одредити одговарајућим методама математичке статистике [76]. Скуп возила која пролазе кроз посматрани пресек пута за посматрани временски интервал од 7 дана тестиран је дисперзионом анализом двоструке класификације по категоријама које дефинише аутоматски бројач саобраћаја. Извршено је тестирање хипотезе о једнакости броја возила по данима у периоду снимања на датој локацији, односно постављена је хипотеза о једнакости математичких очекивања броја возила по данима у току периода снимања која се може приказати изразом 5.3 [76]:

$$H_0(\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_7). \quad (5.3)$$

За дати скуп података одређене су вредности параметара дисперзионе анализе који су приказане у табели 5.16.

Табела 5.16. Вредности параметара дисперзионе анализе са двоструком класификацијом слагања броја возила по данима у току недеље

Варијације	Збир квадрата одступања	Број степени слободе	Средњи квадрат одступања	F - тест
Између броја возила по данима у току недеље	$q_1 = 323608,01$	$r-1 = 6$	$S_1^2 = 53934,67$	$F_1 = 1,85$
Између броја возила по категоријама	$q_2 = 450231155,6$	$s-1 = 10$	$S_2^2 = 45023115,56$	$F_2 = 1548,29$
Случајна	$q_3 = 1744756,09$	$(r-1)(s-1) = 60$	$S_3^2 = 29079,27$	
Укупна	$q = 452299519,7$	$N-1 = 76$	$5951309,47$	

Упоредном анализом добијених вредности за F_1 и F_2 из узорка са референтним вредностима [76] се добија:

$$F_1 = 1,85 < F_{0,05}^{(6,10)} = 3,22, F_2 = 1548,29 > F_{0,05}^{(6,60)} = 2,25. \quad (5.4)$$

На основу релације 5.4 са вероватноћом од 95 % може се закључити следеће:

- да нема значајнијих разлика броја возила по даним у току периода мерења, односно да је тај број приближно исти и да варира око средње вредности,
- да постоје значајне разлике између броја возила по категоријама и да се такав тренд задржава у посматраном периоду и
- средње измерене вредности броја возила по данима у периоду посматрања варирају као величине случајног карактера око средњих вредности за конкретну врсту возила (ПА, БУС, ТВ и тд.), односно постављена хипотеза се може прихватити као тачна.

5.4.2. Тестирање хипотезе о хомогености скупова структуре возног парка по сатима у току дана

Након потврђивања постављене хипотезе о слагању броја возила по данима у току недеље постављена је и тестирана је хипотеза о једнакости броја возила по сатима у току дана у периоду снимања на датој локацији. Скуп возила која пролазе кроз посматрани пресек пута за посматрани временски интервал од 24 h тестиран је дисперзионом анализом двоструке класификације, односно постављена је хипотеза о једнакости математичких очекивања броја возила по сатима у току дана која се може приказати изразом 5.5 [76]:

$$H_0(\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots \mu_{24}). \quad (5.5)$$

За дати скуп података одређене су вредности параметара дисперзионе анализе који су приказане у табели 5.17.

Табела 5.17. Вредности параметара дисперзионе анализе са двоструком класификацијом слагања броја возила по сатима у току дана

Варијације	Збир квадрата одступања	Број степени слободе	Средњи квадрат одступања	F - тест
Између броја возила по сатима у току дана	$q_1 = 133110,45$	$r-1 = 23$	$S_1^2 = 5787,41$	$F_1 = 1,42$
Између броја возила по категоријама	$q_2 = 3115437,84$	$s-1 = 10$	$S_2^2 = 311543,78$	$F_2 = 76,34$
Случајна	$q_3 = 938676,26$	$(r-1)(s-1) = 230$	$S_3^2 = 4081,2$	
Укупна	$Q = 4187224,55$	$N-1 = 263$	15921,01	

Упоредном анализом добијених вредности за F_1 и F_2 из узорка са референтним вредностима [76] добија се:

$$F_1 = 1,42 < F_{0,05}^{(23,230)} = 1,54, F_2 = 1548,29 > F_{0,05}^{(10,230)} = 1,80. \quad (5.6)$$

На основу релације 5.6 са вероватноћом од 95 % може се закључити следеће:

- да нема значајнијих разлика у броју возила по сатима у току дана у току периода мерења односно да је тај број варира око неке средње вредности,
- да постоје значајне разлике између броја возила по категоријама возила и да се такав тренд задржава у посматраном периоду,
- средње измерене вредности броја возила по сатима у току дана у периоду посматрања варирају као величине случајног карактера око средњих вредности за конкретну врсту возила (ПА, БУС, ТВ и тд.) и
- постављена хипотеза се може прихватити као тачна.

5.4.3. Анализа структуре саобраћајног тока према подацима са аутоматског бројача

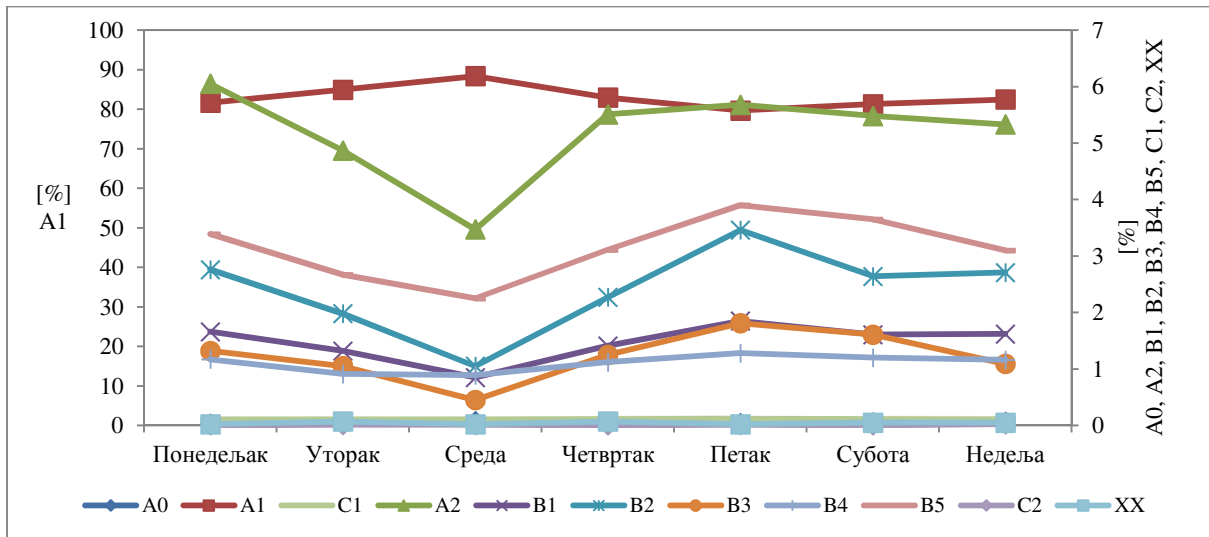
Мерења која су вршена на посматраној саобраћајници а сходно параметрима које мери аутоматски бројач саобраћаја су показала природу кретања протока, временску неравномерност као и остале параметре тока на самој саобраћајници у мерном периоду. У наредним табелама је детаљније анализирана структура саобраћајног тока, при чему су приказане просечне процентуалне вредности и трендови кретања појединих категорија возила у периоду од 7 дана како по данима (табела 5.18. и слика 5.27) тако и по сатима (табела 5.19. и слика 5.28).

Табела 5.18. Просечна процентуална структура саобраћајног тока по данима у периоду од седам дана према подацима са аутоматског бројача на М-5

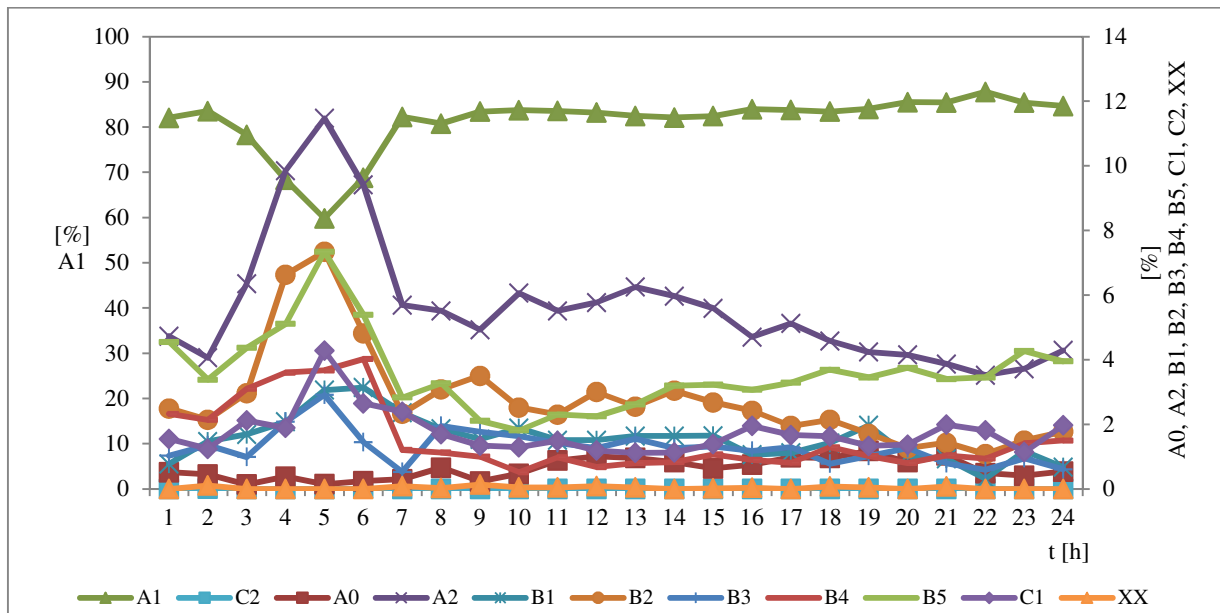
Смер/Категорија	Број узорака	A0	A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	XX	Сума
смер 1	7	0,66	83,05	5,33	1,45	2,49	1,12	1,07	3,21	1,58	0,01	0,04	100
смер 2		0,82	83,08	5,07	1,5	2,33	1,34	1,14	3,09	1,57	0,01	0,05	100
Укупно		0,74	83,06	5,2	1,47	2,41	1,23	1,1	3,15	1,58	0,01	0,04	99,99

Табела 5.19. Просечна процентуална структура саобраћајног тока по сатима у периоду од седам дана према подацима са аутоматског бројача на М-5

Смер/Категорија	Број узорака	A0	A1	A2	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	XX	Сума
смер 1	168	0,57	79,85	6,44	1,63	3,06	1,23	1,7	3,83	1,64	0,01	0,04	100
смер 2		0,67	81,67	5,14	1,6	2,65	1,35	1,46	3,54	1,88	0,01	0,04	100
Укупно		0,63	81,2	5,64	1,56	2,78	1,29	1,53	3,59	1,73	0,01	0,04	100



Слика 5.28. Кретање процентуалне заступљености појединих категорија возила у реалном саобраћајном току по данима у периоду од 7 дана на М5 за оба смера



Слика 5.29. Кретање процентуалне заступљености појединих категорија возила у реалном саобраћајном току по сатима у периоду од 7 дана на М5 за оба смера

Анализе показују да у периоду мерења од седам дана путничка возила (категирија А1) заузимају највећи удео просечно са око 83 % учешћа у сваком дану, односно нешто преко 81 % у сваком измереном сату у посматраном периоду. Ако овој категорији додамо и комби возила (категирија А2) која учествује са око 5 % онда се ова групација возила заузима око 88% учешћа у укупном саобраћајном току.

Обједињавањем категорија В1, В2, В3, В4 и В5 у једну категорију - теретних возила, можемо уочити да се њихово учешће креће око 9,4 % у сваком дану, односно око 10,8 % у сваком измереном сату. Међутим, анализирајући овако дефинисану категорију теретних возила може се уочити да је у оквиру ње доминантна категорија В5 са око 3,1 % учешћа као и категорија В2 са око 2,3 %.

Када су у питању аутобуси њихово учешће се креће око 1,6 % у сваком дану, односно око 1,7 % у сваком измереном сату, при чему је доминантна категорија C1.

Ако овако измерену структуру на аутоматском бројачу упоредимо са структуром читавог возног парка на нивоу земље која је детаљно обрађена у тачки 5.2 могуће је извући одређене закључке:

1. возила категорије M1 у укупном возном парку учествују са око 85 % док је мерењем на терену овај проценат око 88 % што указује да постоји извесно слагање између ова два узорка,
2. возила категорије N1, N2 и N3 у укупном возном парку учествују са око 10,5 % док је мерењем на терену овај проценат око 9,4 % што такође, указује да постоји одређено слагање између ова два узорка и
3. возила категорије M2 и M3 у укупном возном парку учествују са око 0,5 % док је мерењем на терену овај проценат око 1,6 % односно да постоји одређено одступање између ова два узорка.

Оно што се може уочити приликом ове анализе је да примена категоризације коју дефинише аутоматски бројач саобраћаја са аспекта анализе буке не би имала велики значај пре свега због јасног сагледавања доприноса појединих категорија возила на укупни ниво буке. Веома детаљна подела структуре саобраћајног тока довела би до великог расипања резултата и до погрешних закључака о доприносу појединих категорија на ниво буке у неком посматраном временском интервалу. Анализа структуре возног парка је пре свега кључна за доношење одговарајућих стратегија у борби против прекомерног емитовања буке од стране возила. Први корак развоја модела је подразумевао дефинисање меродавне структуре самог саобраћајног тока која ће бити основа за улаз у модел.

5.5. Класификација возила за примену у моделу

Ради једноставнијег праћења категоризације возила извршено је превођење овако дефинисане класификације возила од стране аутоматског бројача у класификацију возила која одговарају EU/ECE класификацији. На основу табеле 5.11 (тачка 5.3) дефинисана је класификација која је приказана у табели 5.20.

Табела 5.20. Класификација возила која одговара EU/ECE класификацији у односу на класификацију возила са аутоматског бројача саобраћаја

Категоризација аутоматског бројача	EU/ECE класификација
A ₀	L ₁
A ₁ , A ₂ и B ₁	M ₁ и N ₁
B ₂ и B ₄	N ₂
B ₃ и B ₅	N ₃
C ₁ и C ₂	M ₂ и M ₃

На основу позиције извора буке на самом возилу, самих карактеристика буке коју емитују ти извори као и других утицајних параметара, емисије буке појединачног возила је различита за

различиту конструкцију и тип возила. Обједињавањем појединих категорија возила у поједине значајне акустичне групе возила пре свега на основу позиције извора буке на самом возилу, броја осовина коју поседује возило, конструкције и типа возила као и других параметара који утичу на емисију буке појединачног возила (дозвољене брзине кретања, оптерећења и тд.) извршено је сажимање овако дефинисане категоризације возила од стране аутоматског бројача саобраћаја у 4 групе возила (меродавна структура) детаљно приказану у табели 5.21. Циљ овакве категоризације је пре свега остваривања практичне класификације возила за анализу на терену али и за анализу утицаја ове структуре тока у моделу за предикцију буке.

Предложена класификација омогућава повезивање класификације возила коју је реално могуће утврдити мерењем на терену и ЕСЕ класификацијом, а да се притом избегне велико растурање резултата мерења. Оваква класификација је добрим делом усклађена са класификацијом возила која се користи у оквиру програма IMAGINE [46] са том разликом да је извршено извесно прерасподељивање унутар самих категорија возила. Оваквом класификацијом у обзир није узета као посебна категорија моторцикала. Ово је урађено из разлога што бољег и потпунијег одсликавања реалног стања на терену, обзиром да је учешће категорије моторцикала у укупном мереном саобраћајном току готово занемарљиво. Што се тиче осталих возила веома је тешко правити јасну разлику са аспекта емисије буке између возила која припадају истој категорији. Треба ипак имати на уму да и у оквиру овако дефинисаних појединих категорија возила могу да постоје значајне разлике између истих типова возила пре свега у погледу саме конструкције возила што за директну последицу има и положај појединих извора буке на конкретном возилу (положај мотора и мењача, издувног система и тд.).

Табела 5.21. Класификација возила за примену у моделу за предикцију буке

Категорија возила за примену у моделу	Опис категорије
Лака моторна возила, < 3,5 t, две осовине 4 и више точка (ЛМВ)	<ul style="list-style-type: none"> - путничка возила, - путничка возила са приколицом, - комби возила, - комби возила са приколицом, - лако теретно возило, - лако теретно возило са приколицом, - минибусеви
Средња теретна возила, више од 3,5 t а мање од 12 t, више од 2 а мање од 5 осовина (СТВ)	<ul style="list-style-type: none"> - теретно возило - камион, - теретно возило - камион са приколицом
Тешка теретна возила, > 12 t, 5 и више осовина (ТТВ)	<ul style="list-style-type: none"> - тешко теретно возило - тегљач са полу-приколицом
Средњи и тешки аутобуси, > 3,5 t са две и више осовина (БУС)	<ul style="list-style-type: none"> - аутобус - зглобни градски аутобус

На основу резултата снимања саобраћаја на делу државног пута првог реда М5, преваходно ради дефинисања меродавне категоризације возила која је значајна са аспекта анализе нивоа буке коју таква саобраћајни ток генерише, извршена је анализа и дискусија тако предложене структуре саобраћајног тока и то у две фазе. Прва фаза анализе се односи на период снимања

саобраћајног тока у периоду од седам дана, и друга фаза се односи на анализу предложене структуре саобраћајног тока на ниво емитоване буке у периоду снимања буке саобраћајног тока.

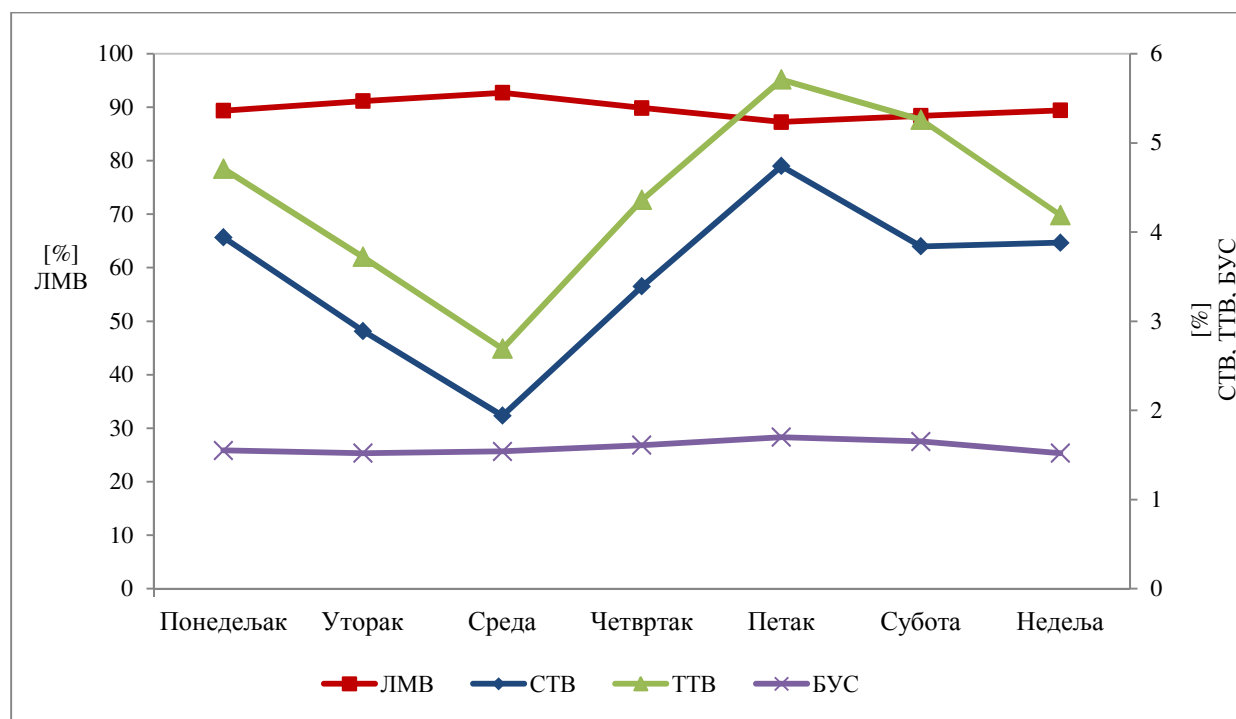
У наредним табелама и сликама су приказане просечне процентуалне вредности као и трендови кретања појединих предложених категорија возила у периоду анализе од 7 дана како по данима (табела 5.22. и слика 5.30) тако и по сатима (табела 5.23. и слика 5.31).

Табела 5.22. Просечна процентуална структура саобраћајног тока по данима у периоду од седам дана према предложеној структури на М-5

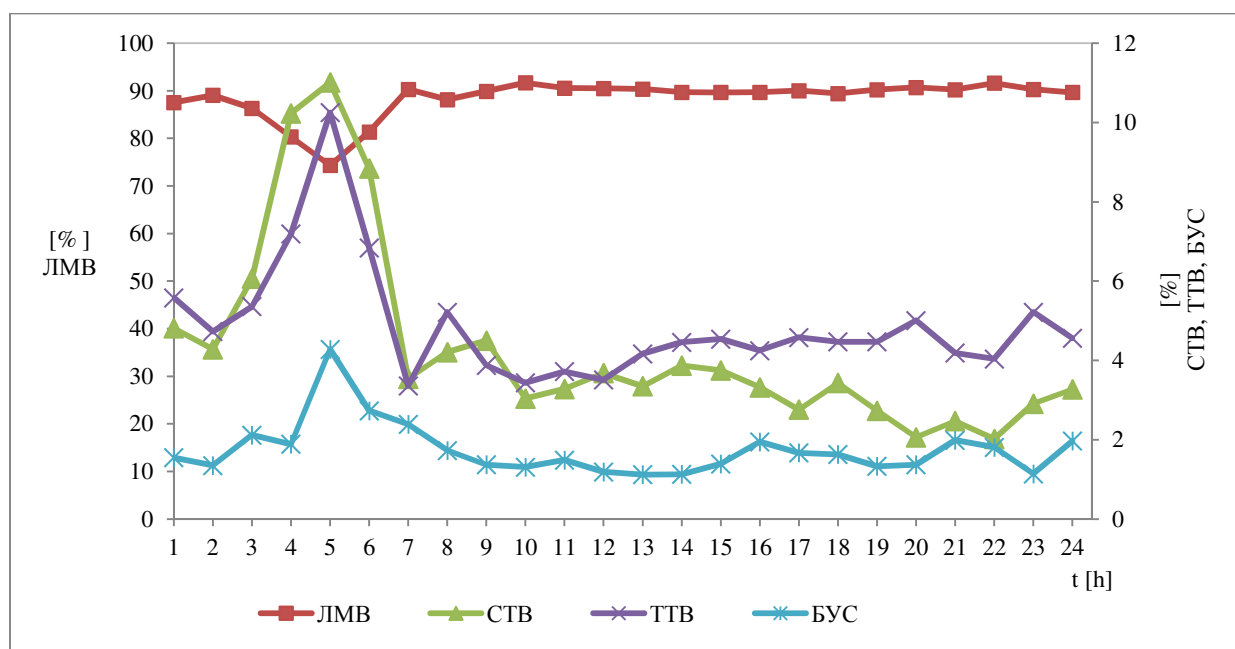
Смер/Категорија	Број узорака	ЛМВ	СТВ	ТТВ	БУС	Сума
смер 1	7	89,83	3,56	4,33	1,59	99,31
смер 2		89,65	3,47	4,43	1,58	99,13
Укупно		89,74	3,52	4,38	1,58	99,22

Табела 5.23. Просечна процентуална структура саобраћајног тока по сатима у периоду од седам дана према предложеној структури на М-5

Смер/Категорија	Број узорака	ЛМВ	СТВ	ТТВ	БУС	Сума
смер 1	168	87,92	4,76	5,06	1,65	99,39
смер 2		88,41	4,11	4,89	1,89	99,3
Укупно		88,4	4,31	4,88	1,75	99,34



Слика 5.30. Кретање процентуалне заступљености предложених категорија возила у реалном саобраћајном току по данима у периоду од 7 дана на М5 за оба смера



Слика 5.31. Кретање процентуалне заступљености предложених категорија возила у реалном саобраћајном току по сатима у периоду од 7 дана на М5 за оба смера

Предложена структура тока је обухватила четири категорије возила као улаз у модел: лака моторна возила (ЛИМВ), средња теретна возила (СТВ), тешка теретна возила (ТТВ) и средњи и тешки аутобуси (БУС). Предложена структура тока је резултат директног мерења на терену и анализе стања читавог возног парка.

Оваква предложена структура саобраћајног тока показује да у периоду мерења од седам дана категорија ЛИМВ заузима највећи удео просечно са око 90 % учешћа у сваком дану, односно нешто преко 88 % у сваком измереном сату у посматраном периоду. Категорија СТВ узима учешће око 3,5 % у сваком дану, односно око 4,3 % у сваком измереном сату. Када је у питању категорија ТТВ она заузима удео просечно са око 4,4 % учешћа у сваком дану, односно нешто преко 4,8 % у сваком измереном сату у посматраном периоду. Код категорије БУС учешће се креће око 1,6 % у сваком дану, односно око 1,7 % у сваком измереном сату. Упоредном анализом овакве структуре се може уочити да оваква структура не одступа драстично од структуре коју дефинише аутоматски бројач саобраћаја, али је једноставнија за практичну примену у самом моделу за предикцију буке. Обједињавања појединих возила у овако дефинисане групе се смањује осцилација структуре самог тока када се ради са просечним вредностима буке, и могуће је прецизније оценити доприносе појединих категорија возила на укупни еквивалентни ниво буке у зони саобраћајнице за дефинисани временски период.

Предложена структура тока се на одређени начин приближава структури која је дата у оквиру IMAGINE пројекта који је урађен на захтев ЕУ, али је са друге стране укључила особености које су карактеристичне за возни парк у Србији. Оваквом предложеном структуром се реалније одсликава стварно стање на мрежи него што би то био случај да се усвојила структура која је предложена у оквиру IMAGINE пројекта. На овај начин су избегнуте потенцијалне грешке које су се могле појавити код анализе буке реалног саобраћајног тока због погрешно усвојене категоризације возила.

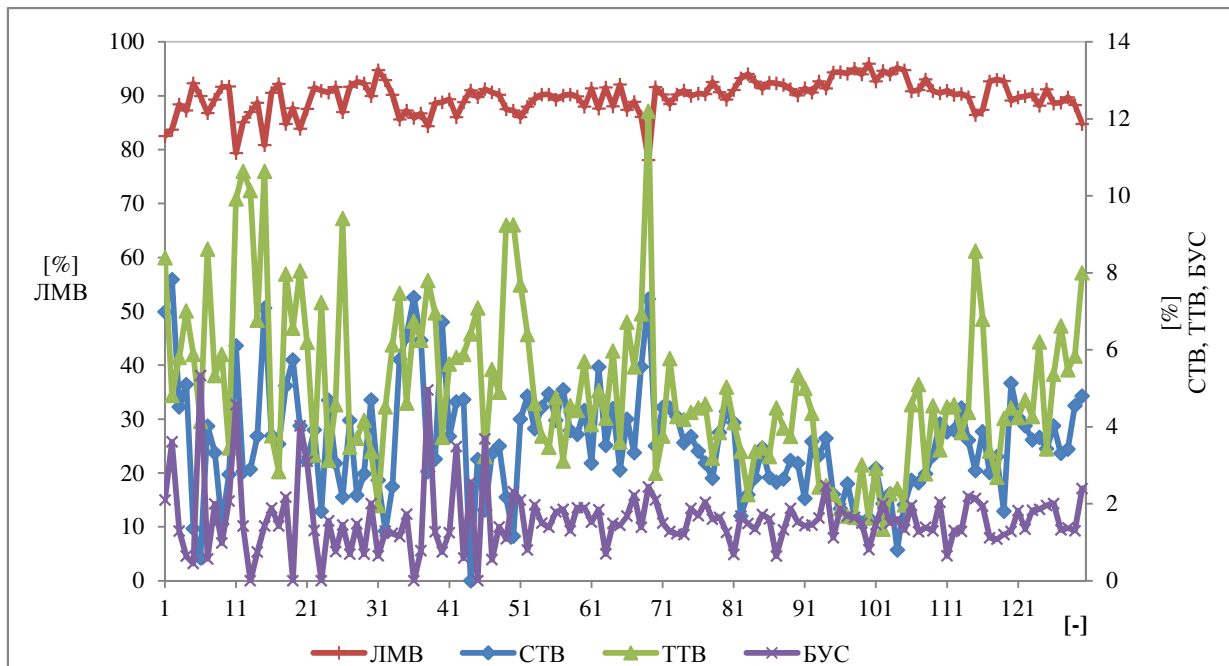
У наредним табелама и сликама су анализирани подаци о структури саобраћајног тока у периоду мерења еквивалентног нивоа буке како за период од 1 h (табела 5.24), тако и за период мерења буке у временском интервалу од 15 min (табела 5.25).

Табела 5.24. Просечна процентуална структура саобраћајног тока према предложеној структури приликом мерења L_{Aeq} (1 h) на М-5

Смер/Категорија	Број узорака	ЛМВ	СТВ	ТТВ	БУС	Сума
смер 1	36	90,03	4,01	4,35	1,61	100
смер 2		89,84	4,12	4,52	1,53	100
Укупно		90,06	4,03	4,36	1,55	100

Табела 5.25. Просечна процентуална структура саобраћајног тока према предложеној структури приликом мерења L_{Aeq} (15 min) на М-5

Смер/Категорија	Број узорака	ЛМВ	СТВ	ТТВ	БУС	Сума
смер 1	130	89,62	3,64	5,01	1,73	100
смер 2		89,72	3,67	5,06	1,55	100
Укупно		89,83	3,58	5,0	1,58	100



Слика 5.32. Кретање процентуалне заступљености предложених категорија возила у реалном саобраћајном току приликом мерења L_{Aeq} (15 min) на М5 за оба смера

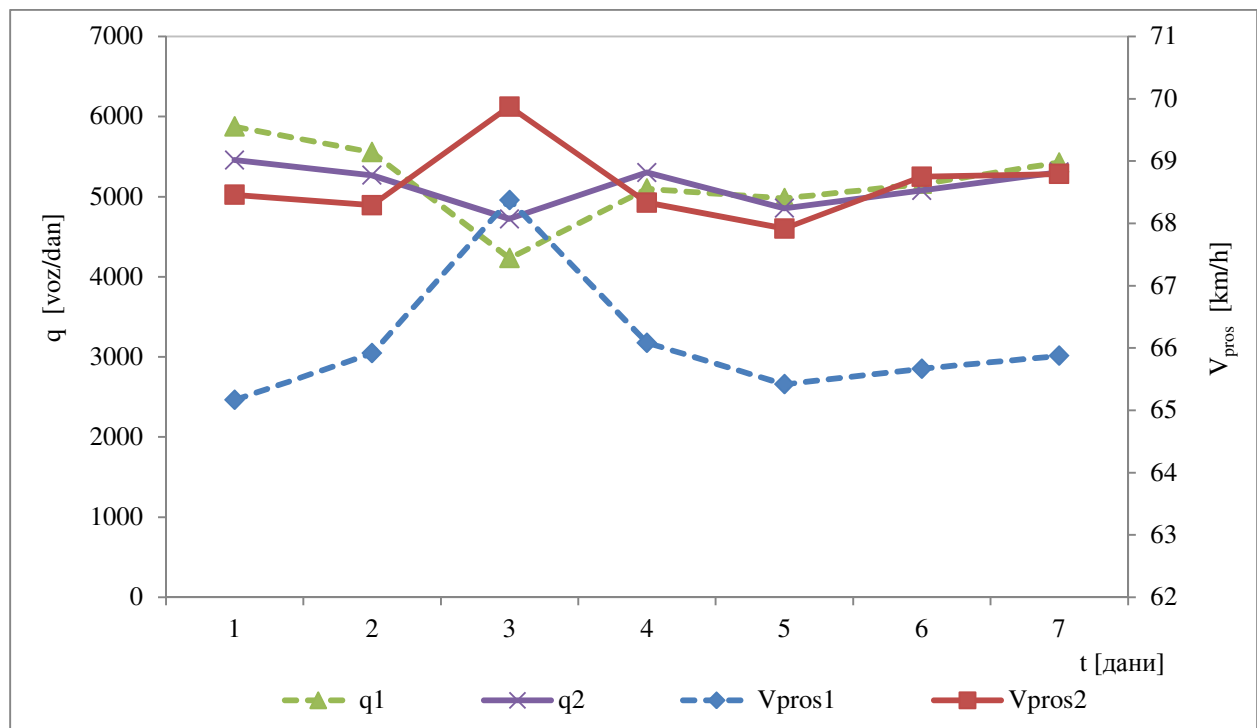
5.5.1. Анализа осталих параметара саобраћајног тока

Приликом прикупљања података о структури саобраћајног тока мерени су и остали значајни параметри саобраћајног тока који се могу искористити за дефинисање одређених правила везаних за понашање саобраћајног тока. На првом месту је мерена вредност просечне брзине свих возила у саобраћајном току и дефинисана је средња временска брзина свих возила на посматраном пресеку пута. Такође, је анализира и вредност заузећа индуктивне петље која нам може дефинисати просечан временски интервал слеђења возила односно густину возила. Статистичка обрада ових измерених вредности по смеровима је приказана у табели 5.26.

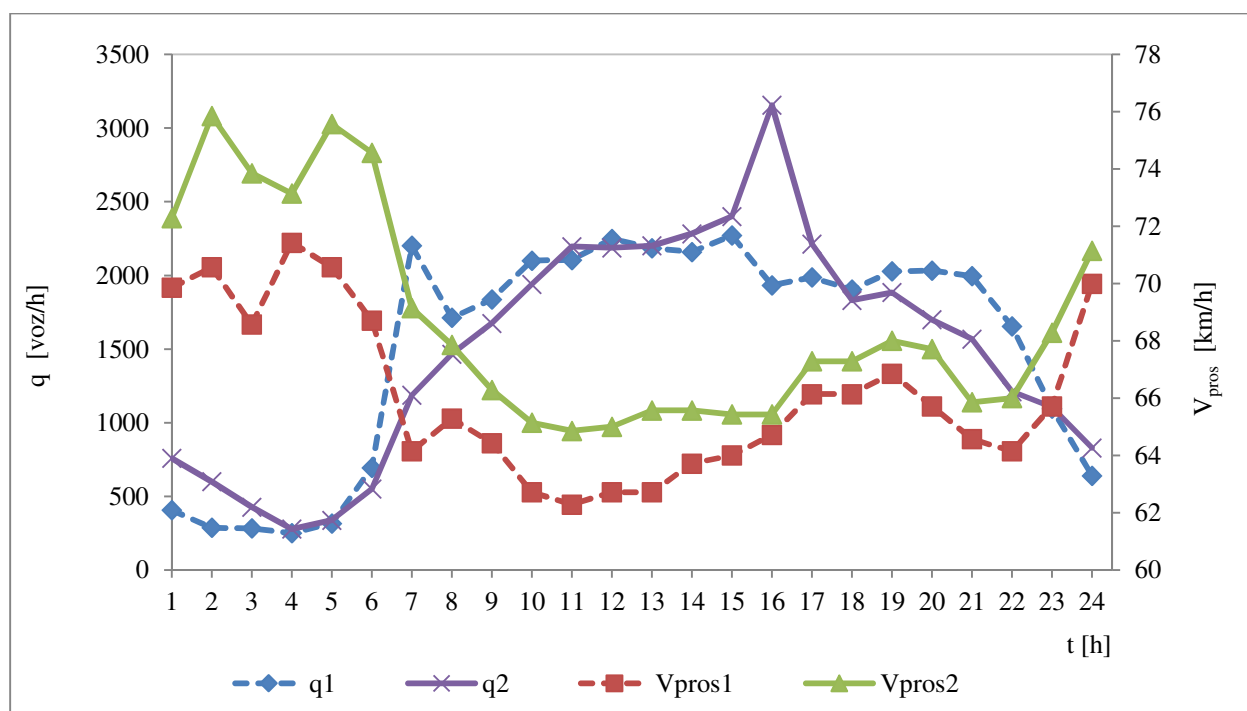
Табела 5.26. Статистичка обрада измерених вредности осталих параметара саобраћајног тока

Мерени параметар		Просек	Стандардно одступање	Мин	Мах
Vmin [km/h]	смер 1	1	0	1	1
	смер 2	1	0	1	1
	оба смера	1	0	1	1
Vmax [km/h]	смер 1	161	21,09	133	190
	смер 2	145,43	17,56	133	180
	оба смера	153,21	16,42	135,5	180
Vavg [km/h]	смер 1	66,07	1,06	65,17	68,38
	смер 2	68,63	0,62	67,92	69,88
	оба смера	67,35	0,82	66,67	69,13
Vpa [km/h]	смер 1	67,06	0,89	66,13	68,96
	смер 2	69,45	0,6	68,79	70,29
	оба смера	68,26	0,67	67,77	69,63
ОСС [%]	смер 1	27,6	3,15	22,25	31,38
	смер 2	28,5	6,73	21,38	37,08
	оба смера	28,05	4,73	21,81	34,23

На основу ових података и података о протоку возила на посматраном пресеку пута могуће је дефинисати одређене везе између просечне брзине саобраћајног тока на пресеку пута и протока возила како по данима тако и по сатима у периоду снимања (слика 5.33 и 5.34).

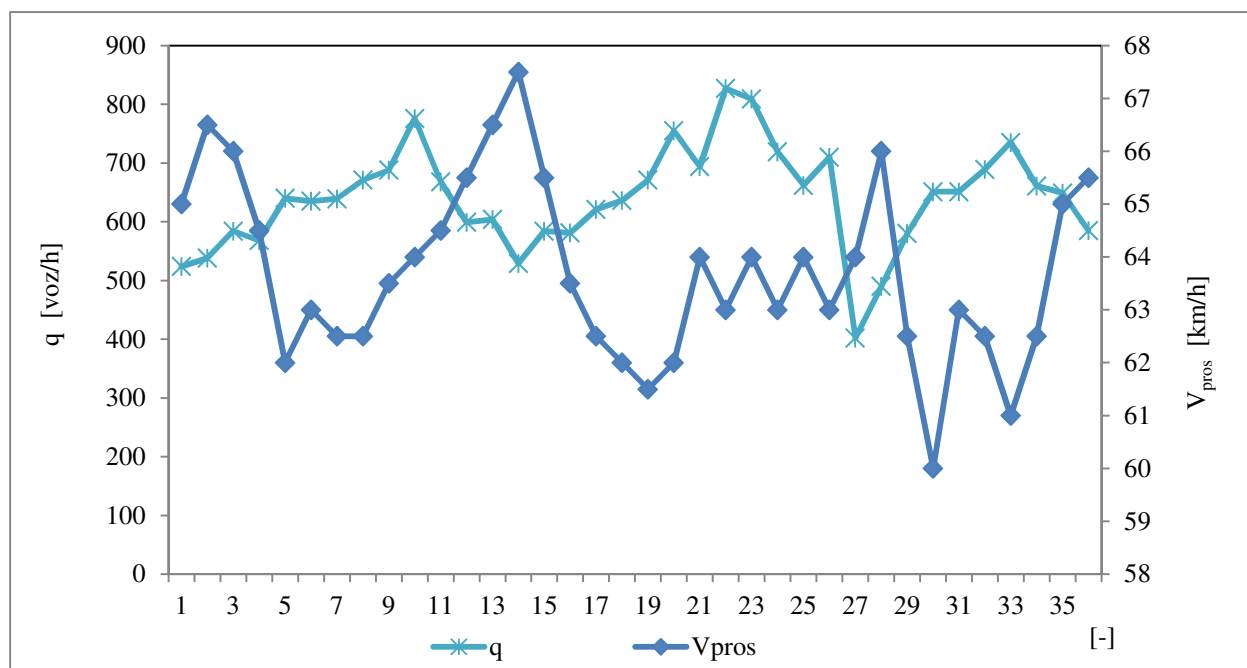


Слика 5.33. Кретање просечне брзине тока и протока возила по данима у периоду снимања саобраћаја на М5 по смеровима



Слика 5.34. Кретање просечне брзине тока и протока возила по сатима у периоду снимања саобраћаја на М5 по смеровима

Оно што је могуће приметити на сликама 5.33 и 5.34 је да је брзина саобраћајног тока у великој мери прати промене у протоку возила на посматраном пресеку и да бележи пораст када опадне вредност протока. Такве промене брзине јесу у складу са јасним законитостима које важе у теорији саобраћајног тока превасходно због познате везе између брзине, густине и протока возила [37, 58].



Слика 5.35. Кретање просечне брзине тока и протока возила у периоду снимања L_{Aeq} (1 h) на М5 у оба смера

На слици 5.35 се може уочити да промене протока јесу праћене променама просечне брзине тока и за период снимања буке саобраћајног тока у интервалу од 1 h, што може указати на значај ових параметара у самом моделу за предикцију буке. Наиме, смањењем брзине кретања долази до пораста протока а са порастом протока расте и број возила који пролазе кроз посматран попречни пресек саобраћајнице што ће за последицу имати генерисање више буке. Са друге стране са падом протока долази до пораста брзине што ће такође, имати за последицу пораст нивоа генерисане буке обзиром на познату везу између нивоа буке и брзине кретања возила, али о томе нешто детаљније у наредним тачкама.

5.6. Мерење еквивалентног нивоа буке појединачних возила одређених категорија – карактеристике процеса мерења

Прикупљање оваквих података је захтевало дужи временски период пре свега због обезбеђења потребних услова за овакав тип мерења, тако да су мерења спровођења у различитим периодима дана и на различитим локалитетима пута М5. Различити локалитети на којима су вршена мерења су бирани на такав начин да је на њима постојало испуњење одговарајућих услова који су се односили на техничко експлоатационе услове самог пута, приближних амбијенталних услова, сличних метеоролошких услова (без јаких ветрова, кише, високих температура и тд.), са једином разликом да су на тим мерним локацијама била дефинисана различита ограничења брзине кретања возила. Овакав приступ мерењу буке при различитим ограниченим брзинама на појединим локалитетима је изабран пре свега због ситуације која је примећена на терену, а то је да се приликом прикупљања и мерења ових података возачи понашају на одређени начин.

Наиме прва ствар која је уочена је да возачи на оваква мерења реагују избором одговарајуће брзине, односно бирају брзину која им је наметнута важећим саобраћајним знаком. Возачи обично бирају брзине које су нешто испод вредности дефинисане саобраћајним знаком иако то у другим условима, бар велика већина возача, не би учинила. До овакве ситуације долази веома брзо на мерној локацији услед чега се брзина проласка појединачних возила стабилизује око неке вредности нешто испод ограничене брзине за тај део пута након чега осцилира благо око ове вредности.

Друга битна карактеристика понашања возача која је уочена јесте да приликом уочавања мерне опреме почињу да смањују брзину кретања свог возила иако су испод границе дозвољене брзине у зони испред мерне опреме а да након проласка поред мерне опреме почињу да убрзавају своја возила. Овакав начин понашања возача утиче на мерене резултате јер тада се више не може рећи да се ради о измереној буци возила у пролазу када се оно креће равномерном брзином већ се полако залази у зону мерења буке у режимима убрзања односно успорења возила. Овакво понашање возача у зони мерења је највероватније последица схватања возача да се ради о активностима поред пута која су усмерена против њих тј., сматрају да се ради о мерењима прекорачења брзине од стране полиције услед чега бирају посебне режиме вожње.

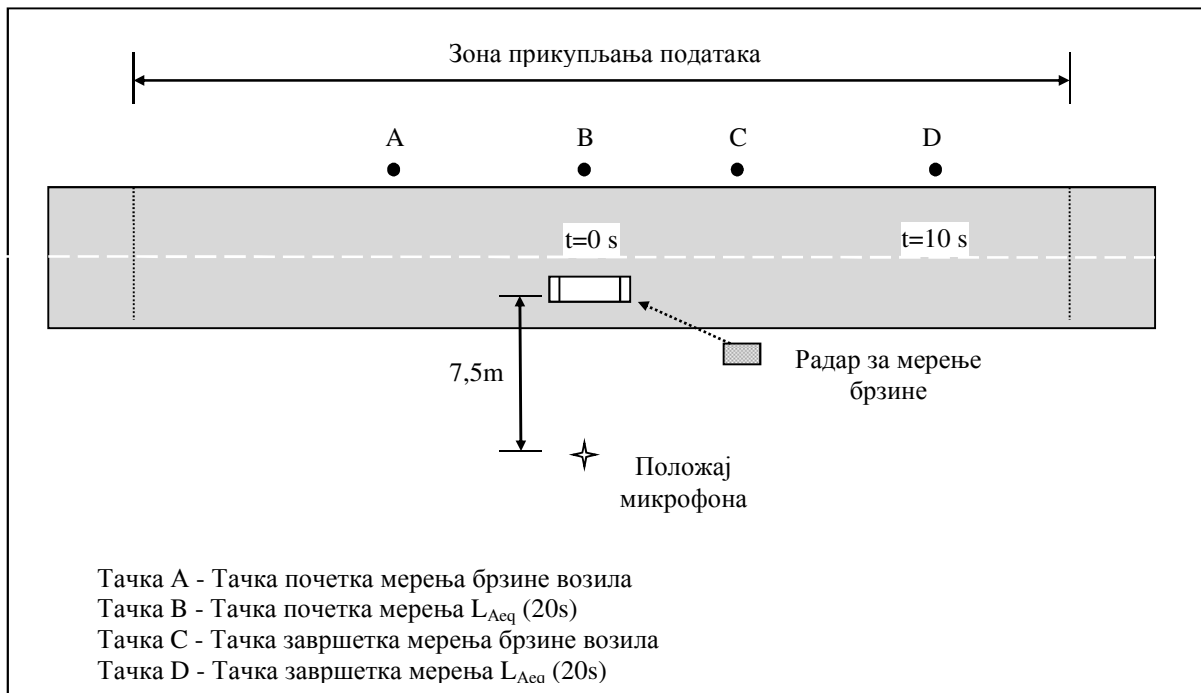
Због ових наведених проблема за овакав тип мерења појединачног проласка возила је дакле, потребно обезбедити посебне услове како возачи не би приметили оваква мерења и у потпуности наставили да се понашају се начин на који се иначе понашају када знају да нема мерења у зони саобраћајнице. У том смислу веома битна карактеристика оваквог типа мерења је избор мерне локације, јер је у противном веома тешко спровести мерења на одређеним локацијама које морају испуњавати одређене услове о чему је било више речи у тачки 4.10. Ако се ипак, примети другачије понашање возача потребно је обуставити мерење јер оно не одсликава реалне услове пре свега избора брзине и режима кретања возила, услед чега добијена измерена вредност буке возила не одговара реалним условима.

Овакав проблем је поред избора одговарајућег локалитета могуће је на неки начин превазићи опремом која није толико уочљива за возачи и не утиче у толикој мери на њихово понашање. Управо се приликом оваквог мерења потврдила постављена хипотеза да карактеристика структуре тока, односно степен нехомогености саобраћајног тока може бити исказана и карактеристикама возача у току. Састав саобраћајног тока, односно питање у којој је мери ток хомоген или нехомоген, представља значајну карактеристику тока од које снажно зависе услови који владају у саобраћају на мрежи и има веома велики значај на ниво измерене буке, [5, 58, 81, 82].

5.7. Резултати мерења емисионих вредности појединих категорија возила

За развој модела за предикцију саобраћајне буке, за први корак било је неопходно утврдити емисионе вредности буке појединачних возила одређених група. У ту сврху је извршено мерење емисионих вредности буке појединачних возила у пролазу на изабраној локацији. За то је коришћен индикатор буке SEL, а возила су структурирана према већ усвојеној меродавној структури. На основу овако измереног податка уз помоћ израза 4.11 је добијен еквивалентни ниво буке возила у ознаци L_{Aeq} (10 s) по тежинској криви А, у интервалу мерења од $t_1= 0$ s до $t_2= +10$ s. Овако добијена вредност еквивалентног нивоа буке искоришћена је као еквивалентни ниво буке L_{Aeq} (20s) за интервал мерења од $t_1= -10$ s до $t_2= +10$ s за сваку појединачну групу возила, о чему је било речи у тачки 4.11.

Положај микрофона је дефинисан на 7,5 m од централне линије кретања возила на висини од 1,2 m од нивоа пута. Растојање и висина микрофона је дефинисано на основу препоруке стандарда ISO 362 и анализе већ рађених мерења сличног типа. Брзина сваког појединачног возила је дефинисана радаром за мерење брзине. Радар је лоциран непосредно уз ивицу пута на постољу и висини од 1 m у односу на површину пута усмерен ка правцу наилаaska возила. На овакав начин се мерење брзине возила обавља у доласку и то под малим углом од 1^0 до 3^0 у односу на централну линију кретања возила чиме се обезбеђује висока тачност мерења брзине кретања возила. Начин и положај опреме за мерења буке појединачног возила у пролазу је детаљно приказана на слици 5.36.


 Слика 5.36. Шематски приказ мерења еквивалентног нивоа буке L_{eq} (20s) на терену

Резултати мерења и одређене статистичке анализе за сваку дефинисану групу возила у зависности од брзине кретања су приказани у табели 5.27.

Табела 5.27. Мерни резултати појединачних категорија возила у пролазу

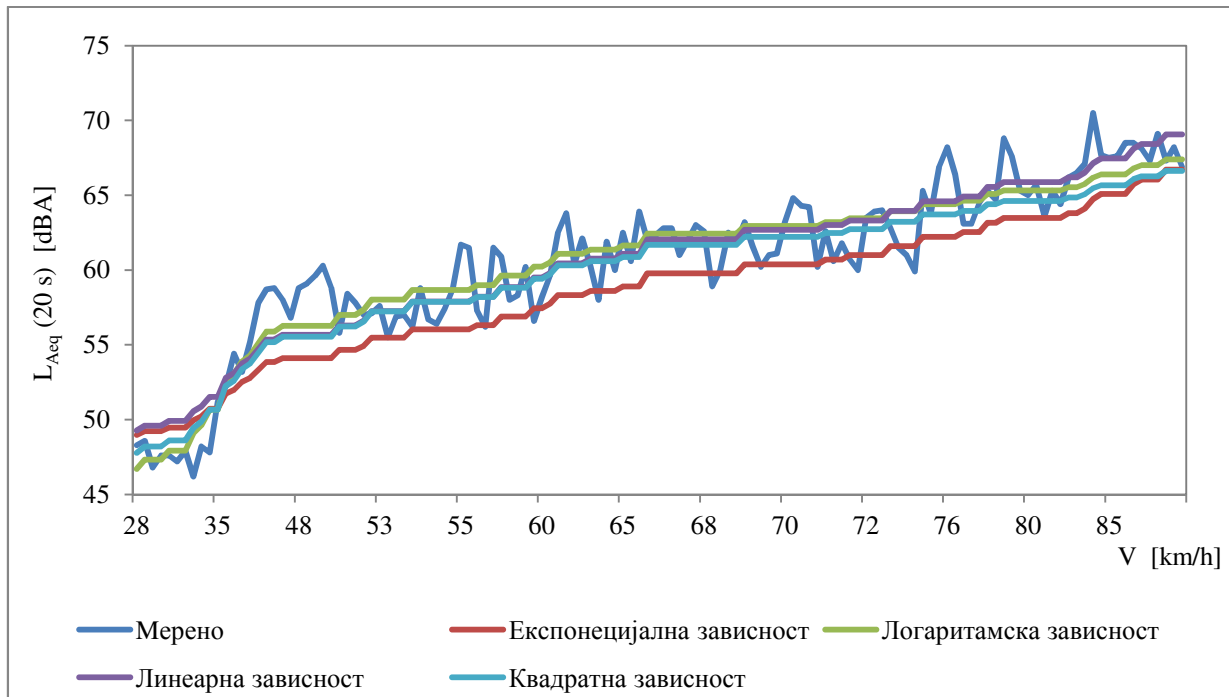
Категорија возила	Лака моторна возила ЛМВ	Средња теретна моторна возила СТВ	Тешка теретна моторна возила ТТВ	Средњи и тешки аутобуси БУС	
Број узорака	130	55	35	35	
L_{Aeq} (20s) [dBA]	Мин. вредност	46,2	55,8	66,7	66,9
	Макс. вредност	70,5	76,2	78,9	78,7
	Прос. вредност	60,57	69,32	74,53	72,35
	Ст. одступање	5,36	4,54	3,03	3,41
Брзина кретања возила [km/h]	Мин. вредност	28	32	34	35
	Макс. вредност	90	87	85	82
	Прос. вредност	63,48	63,18	61,2	53,97
	Ст. одступање	15,7	15,11	14,87	13,17

На основу ових мерења извршена је обрада података у циљу дефинисања одговарајуће зависности између нивоа еквивалентне буке возила у пролазу одговарајуће категорије и брзине кретања тог возила. Испитиване су различите зависности за сваку од дефинисаних категорија возила. Резултати ове анализе су приказани у табели 5.28.

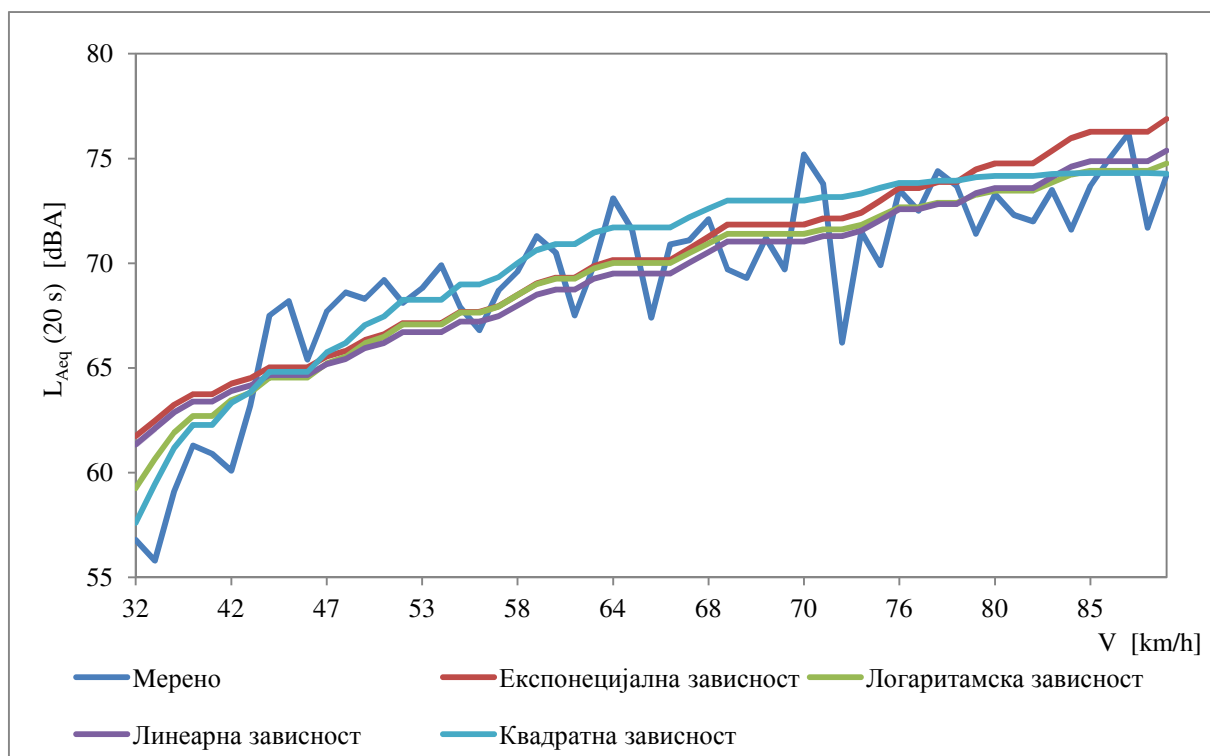
Табела 5.28. Резултати статистичке анализе функционалне везе еквивалентног нивоа буке $L_{Aeq}(20s)$ и брзине возила V за различите зависности

Показатељи	Коефицијент детерминације R^2	Коефицијент корелације R	Укупна дисперзија S_y^2	Протумачени део дисперзије $S_{yг}^2$	Резидујумска дисперзија S_y^2	Станд. грешка регресије S_y	F – тест	$F_{0,05}$ за k_1 и k_2	t – тест	$t_{0,05}$
Категорија возила	Лака моторна возила (ЛМВ)									
Зависност/Број узорака	130									
Линеарна $L_{Aeq}(20s) = 40.351 + 0.319V$	0,871	0,933	3706,79	3228,099	478,690	1,919	1,1449	1,2	0,0456	1,96
Логаритамска $L_{Aeq}(20s) = 17.719 \ln V - 12.331$	0,884	0,940	3706,789	3276,262	430,527	1,820	1,1311	1,2	0,0012	1,96
Квадратна $L_{Aeq}(20s) = 34.221 + 0.54V - 0.002V^2$	0,864	0,930	3706,79	3204,201	502,588	1,966	1,2650	1,2	0,9861	1,96
Експоненцијална $L_{Aeq}(20s) = 42.6e^{0.005V}$	0,722	0,850	3706,789	2675,189	1031,600	2,817	1,4156	1,2	3,1577	1,96
Категорија возила	Средња теретна моторна возила (СТВ)									
Зависност/Број узорака	55									
Линеарна $L_{Aeq}(20s) = 53.192 + 0.255V$	0,721	0,849	1115,28	803,896	311,384	2,379	1,3908	1,42	0,6960	1,96
Логаритамска $L_{Aeq}(20s) = 15.522 \ln V + 5.4523$	0,781	0,884	1115,28	870,627	244,652	2,109	1,2808	1,42	0,6934	1,96
Квадратна $L_{Aeq}(20s) = 31.204 + 1.017V - 0.006V^2$	0,768	0,876	1115,28	856,260	259,020	2,170	1,0551	1,42	0,5942	1,96
Експоненцијална $L_{Aeq}(20s) = 54.344e^{0.004V}$	0,674	0,821	1115,28	751,718	363,56	2,571	1,1760	1,42	0,6089	1,96
Категорија возила	Тешка теретна моторна возила (ТТВ)									
Зависност/Број узорака	35									
Линеарна $L_{Aeq}(20s) = 63.87 + 0.174V$	0,731	0,855	312,09	228,118	83,974	1,549	1,3705	1,57	0,0145	1,96
Логаритамска $L_{Aeq}(20s) = 10.231 \ln V + 32.752$	0,762	0,873	312,09	237,861	74,230	1,456	1,3135	1,57	0,0038	1,96
Квадратна $L_{Aeq}(20s) = 55.292 + 0.475V - 0.002V^2$	0,271	0,521	312,09	84,453	227,639	2,550	1,3243	1,57	2,4499	1,96
Експоненцијална $L_{Aeq}(20s) = 64.431e^{0.002V}$	0,381	0,617	312,09	118,828	193,26	2,350	1,9725	1,57	2,7111	1,96
Категорија возила	Средњи и тешки аутобуси (БУС)									
Зависност/Број узорака	35									
Линеарна $L_{Aeq}(20s) = 60.493 + 0.22V$	0,719	0,848	395,19	284,326	110,861	1,780	1,3856	1,57	0,0240	1,96
Логаритамска $L_{Aeq}(20s) = 11.615 \ln V + 26.361$	0,698	0,835	395,19	276,035	119,153	1,845	1,4317	1,57	0,0019	1,96
Квадратна $L_{Aeq}(20s) = 63.7 + 0.098V - 0.001V^2$	0,714	0,845	395,19	282,138	113,049	1,797	1,5165	1,57	0,3746	1,96
Експоненцијална $L_{Aeq}(20s) = 61.401e^{0.003V}$	0,719	0,848	395,19	284,175	111,01	1,781	1,4209	1,57	0,1819	1,96

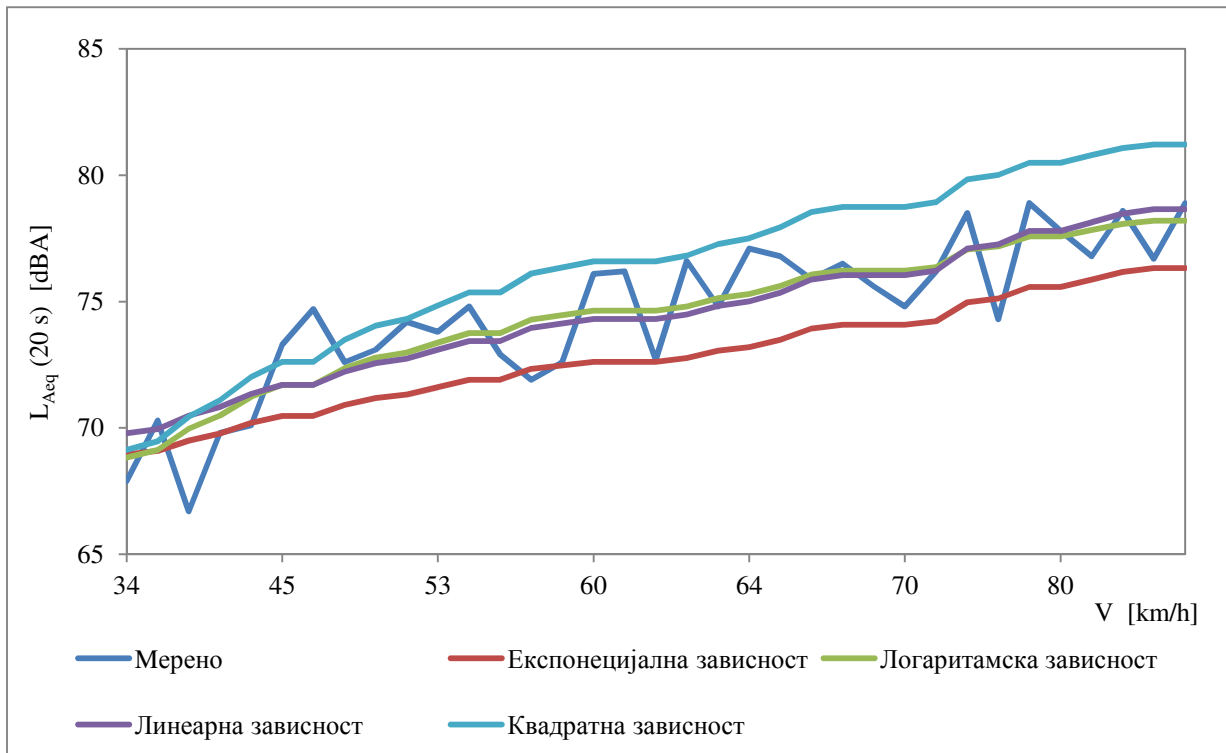
На основу добијених регресионих модела извршено је међусобно упоређивање експерименталних и израчунатих вредности за поједине категорија возила у пролазу. Међусобни односи измерених и израчунатих вредности еквивалентног нивоа буке возила у пролазу су приказани на сликама 5.37 -5.41.



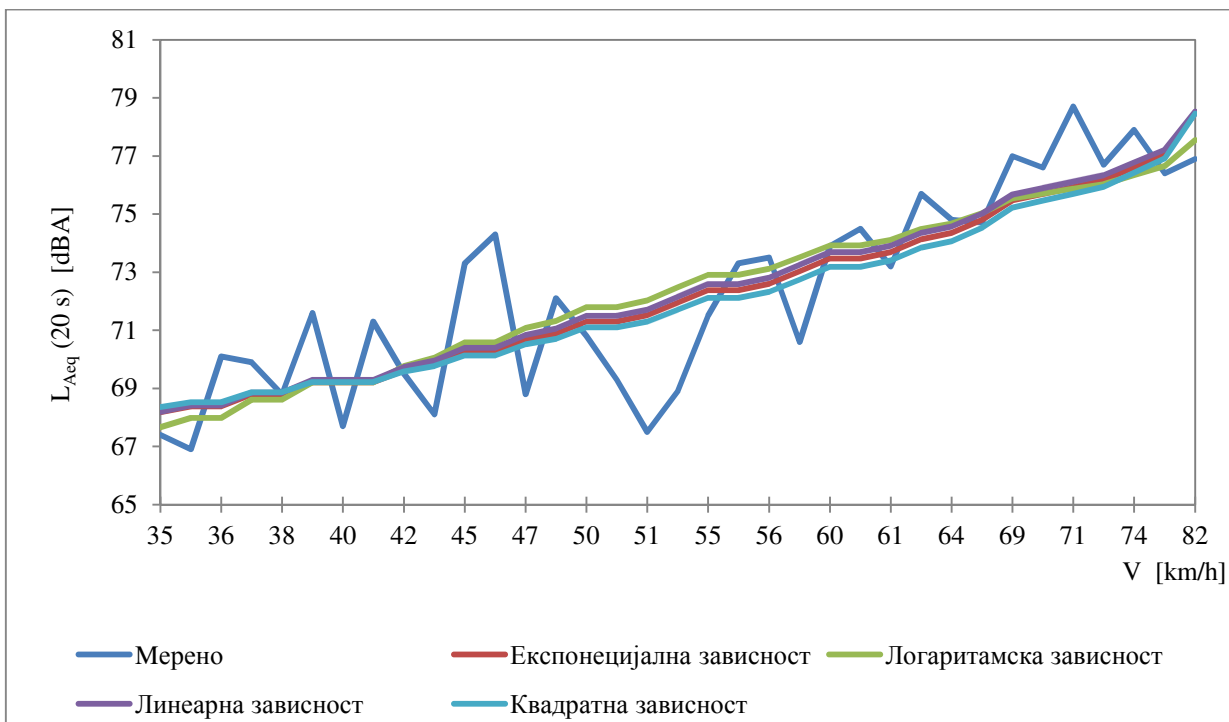
Слика 5.37. Шематски приказ еквивалентног нивоа буке $L_{eq} (20s)$ мереног на терену и резултата добијених на основу предложених модела за лака моторна возила у функцији брзине возила V



Слика 5.38. Шематски приказ еквивалентног нивоа буке $L_{eq} (20s)$ мереног на терену и резултата добијених на основу предложених модела за средња теретна возила у функцији брзине возила V



Слика 5.39. Шематски приказ еквивалентног нивоа буке $L_{eq}(20s)$ мереног на терену и резултата добијених на основу предложених модела за тешка теретна возила у функцији брзине возила V



Слика 5.40. Шематски приказ еквивалентног нивоа буке $L_{eq}(20s)$ мереног на терену и резултата добијених на основу предложених модела за аутобусе у функцији брзине возила V

Анализирајући статистичке параметре за категорију ЛМВ (табела 5.28 и слика 5.37), као и величину обрађеног узорка може се уочити да је логаритамска зависност између брзине возила у реалним условима кретања и ниво емитоване буке меродавна зависност. Регресиони модел за категорију ЛМВ код 86 тачака у односу на укупно 130 тачака генерише разлику између мерене и израчунате вредности мању од стандардне грешке регресије, односно 66 % тачака лежи у појасу $L_{eqA}(20s) - S_y$ и $L_{eqA}(20s) + S_y$ око регресионе криве. Може се извести закључак да се као оптималан модел ове категорије возила за даљу анализу усвоји логаритамски модел зависности брзине кретања возила и нивоа емитоване буке возила у пролазу при реалним условима кретања.

Анализирајући статистичке параметре за категорију возила СТВ (табела 5.28 и слика 5.38), као и величину обрађеног узорка може се уочити да се логаритамски модел може усвојити као меродавна зависност. Код ове категорије возила 36 тачака у односу на укупно 55 тачака генерише разлику између мерене и израчунате вредности мању од стандардне грешке регресије, односно 65 % тачака лежи у појасу $L_{eqA}(20s) - S_y$ и $L_{eqA}(20s) + S_y$ око регресионе криве. За даљу анализу је усвојена логаритамска зависност између буке коју емитује возило у пролазу и брзине кретања возила узимајући у обзир све анализиране статистичке параметре.

Код категорије ТТВ на основу анализе статистичких параметара (табела 5.28 и слика 5.39), као и величину обрађеног узорка може се уочити да се логаритамска зависност између брзине кретања возила и нивоа емитоване буке може усвојити као меродавна зависност. Код ове категорије возила од укупно 35 тачака, 24 тачке генеришу разлику између мерене и израчунате вредности мању од стандардне грешке регресије, односно 69 % тачака лежи у појасу $L_{eqA}(20s) - S_y$ и $L_{eqA}(20s) + S_y$ око регресионе криве. Може се извести закључак да се као оптималан модел ове категорије возила за даљу анализу усваја логаритамски модел зависности брзине кретања возила и нивоа емитоване буке возила у пролазу при реалним условима кретања

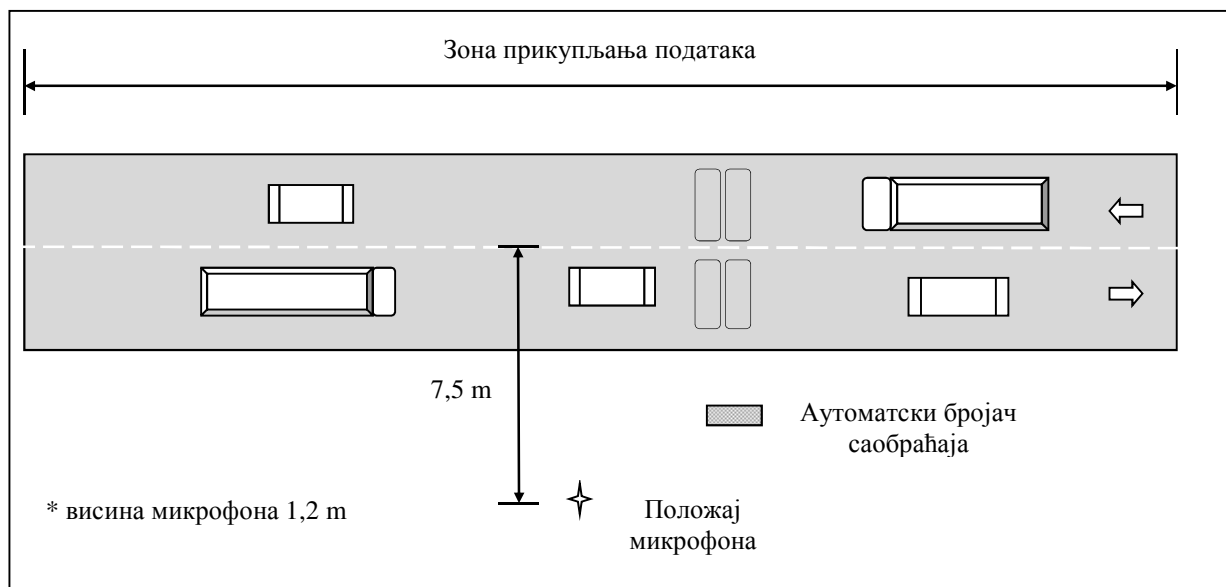
Код категорије БУС узимајући у обзир све анализиране статистичке параметре (табела 5.28 и слика 5.39), као и величину обрађеног узорка као и одређена искуства добијена приликом анализе резултата код ЛМВ, СТВ и ТТВ за даљу анализу се као меродаван модел усваја логаритамски модел који најбоље описује везу између брзине кретања возила и нивоа емитоване буке. Код категорије БУС-а од укупно 35 тачака, 23 тачке генеришу разлику између мерене и израчунате вредности мању од стандардне грешке регресије, односно 66 % тачака лежи у појасу $L_{eqA}(20s) - S_y$ и $L_{eqA}(20s) + S_y$ око регресионе криве. Може се извести закључак да се као оптималан модел ове категорије возила за даљу анализу усваја логаритамски модел зависности брзине кретања возила и нивоа емитоване буке возила у пролазу при реалним условима кретања.

Детаљнија анализа за усвојение моделе за поједине категорије возила је дата у глави 8.

5.8. Резултати мерења буке непрекинутог саобраћајног тока на одсеку пута

У циљу анализе еквивалентног нивоа буке реалног саобраћајног тока вршено је мерење нивоа еквивалентне вредности буке према дефинисаној методологији у зони саобраћајнице при условима непрекинутог и неометаног саобраћајног тока. Мерење је обављено у две фазе, тако да је прво вршено узроковање еквивалентног нивоа буке при константном мониторингу од 12 h у периоду од 07 h до 19 h са интервалом узроковања од 1 h, при чему је сакупљено 36 узорака. Затим је обављено прикупљање еквивалентног нивоа буке у интервалима од по 15 min при чему је сакупљено 130 узорака. У другој фази мерења није вршен константан мониторинг већ је узроковање вршено по случајном избору у различитим периодима дана и вечери.

Мерење еквивалентног нивоа буке је вршено на путу М5, и то на оним локацијама непосредно у зони аутоматског бројача саобраћаја како би се симултано мерили проток возила, структура саобраћајног тока као и просечна вредност брзине саобраћајног тока. Микрофона је лоциран на 7,5 m од средине пута на висини 1,2 m од нивоа пута. Положај микрофона је дефинисан на основу претходно извршеног мерења буке појединачних возила у пролазу, како би се створили што је могуће приближнији услови мерења буке саобраћајног тока, и повезала ова два мерења. Мерења која су обављена су се вршила у различитим временским периодима како би се сакупило више случајних узорака који би што реалније описивали ову појаву. Такође, су мерења вршена и са једне и са друге стране пута под истим условима. Приликом мерења се водило рачуна да климатски услови буду што је могуће више приближни како би се елиминисао утицај овог фактора. Шематски приказ тока мерења је дат на слици 5.41.



Слика 5.41. Шематски приказ мерења еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} саобраћајног тока у зони пута

Резултати мерења вредности буке и параметара саобраћајног тока за период мерења са интервалом од 1 h су приказани у табели 5.29.

Табела 5.29. Резултати мерења буке и параметара тока за период мерења од 1h

Мерена група возила	Лака моторна возила		Средња теретна возила		Тешка теретна возила		Средњи и тешки аутобуси	
	смер 1	смер 2	смер 1	смер 2	смер 1	смер 2	смер 1	смер 2
Број узорака	36							
Минимална вредност протока по смеровима	194	138	6	5	5	5	1	1
Максимална вредност протока по смеровима	369	441	26	22	31	25	10	13
Просечна вредност протока по смеровима voz/h	294,5	281,5	13	12,75	14,3	13,7	5,2	4,6
Стандардно одступање протока по смеровима	38	61,9	4,1	4,6	5,6	4,5	2,2	2,6
Минимална вредност протока у оба смера	367		15		14		5	
Максимална вредност протока у оба смера	735		40		51		20	
Просечна вредност протока у оба смера voz/h	576		25,8		28		9,8	
Стандардно одступање протока у оба смера	79,4		6,6		8,1		3,6	
Минимална вредност брзине по смеровима	смер 1	1						
	смер 2	1						
Максимална вредност брзине по смеровима	смер 1	120						
	смер 2	128						
Просечна вредност брзине по смеровима	смер 1	62,5						
	смер 2	64,75						
Стандардно одступање брзине по смеровима	смер 1	2,05						
	смер 2	1,95						
Просечна вредност брзине у оба смера km/h	63,63							
Стандардно одступање брзине у оба смера	1,63							
Просечна вредност укупног протока voz/h	смер 1	326,97						
	смер 2	312,6						
Просечна вредност укупног протока voz/h	639,58							
Стандардно одступање укупног протока	87,38							
Минимална вредност еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 1 h [dBA]	68,82							
Максимална вредност еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 1 h [dBA]	72,82							
Просечна вредност L_{Aeq} за 1 h [dBA]	72,02							
Стандардно одступање L_{Aeq} за 1 h	0,79							

Резултати мерења вредности буке и параметара саобраћајног тока за период мерења са интервалом од 15 min су приказани у табели 5.30.

Табела 5.30. Резултати мерења буке и параметара тока за период мерења од 15 min

Мерена група возила	Лака моторна возила		Средња теретна возила		Тешка теретна возила		Средњи и тешки аутобуси	
	смер 1	смер 2	смер 1	смер 2	смер 1	смер 2	смер 1	смер 2
Број узорака	130							
Минимална вредност протока по смеровима	12	21	0	0	0	0	0	0
Максимална вредност протока по смеровима	145	165	8	9	10	15	8	7
Просечна вредност протока по смеровима voz/h	66,65	67,84	2,7	2,7	3,7	3,8	1,26	1,15
Стандардно одступање протока по смеровима	13,36	18,2	1,4	3,3	2,1	2,1	0,96	0,92
Минимална вредност протока у оба смера	32		0		2		0	
Максимална вредност протока у оба смера	228		13		18		9	
Просечна вредност протока у оба смера voz/h	134,45		5,29		7,5		2,35	
Стандардно одступање протока у оба смера	25,44		2,2		3,3		1,4	
Просечна вредност укупног протока voz/h	смер 1	74,34						
	смер 2	75,39						
Стандардно одступање укупног протока	смер 1	14,56						
	смер 2	19,54						
Просечна вредност укупног протока у оба смера voz/h	149,55							
Стандардно одступање укупног протока	27,55							
Минимална вредност еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 15 min [dBA]	67,4							
Максимална вредност еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 15 min [dBA]	73,7							
Просечна вредност L_{Aeq} за 15 min [dBA]	71,37							
Стандардно одступање L_{Aeq} за 15 min	1,24							

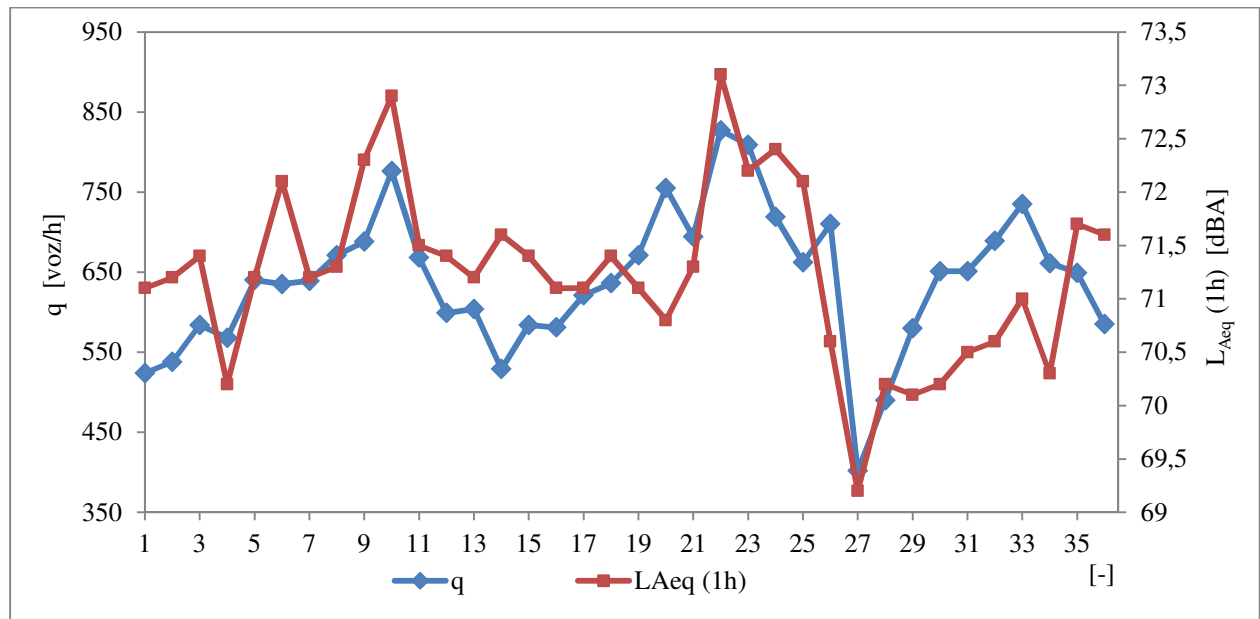
5.8.1. Утицај саобраћајних параметара на ниво еквивалентне буке саобраћајног тока

Утицај саобраћајних параметара на ниво буке се може ближе објаснити кроз анализу вредности измерене буке и саобраћајних параметара.

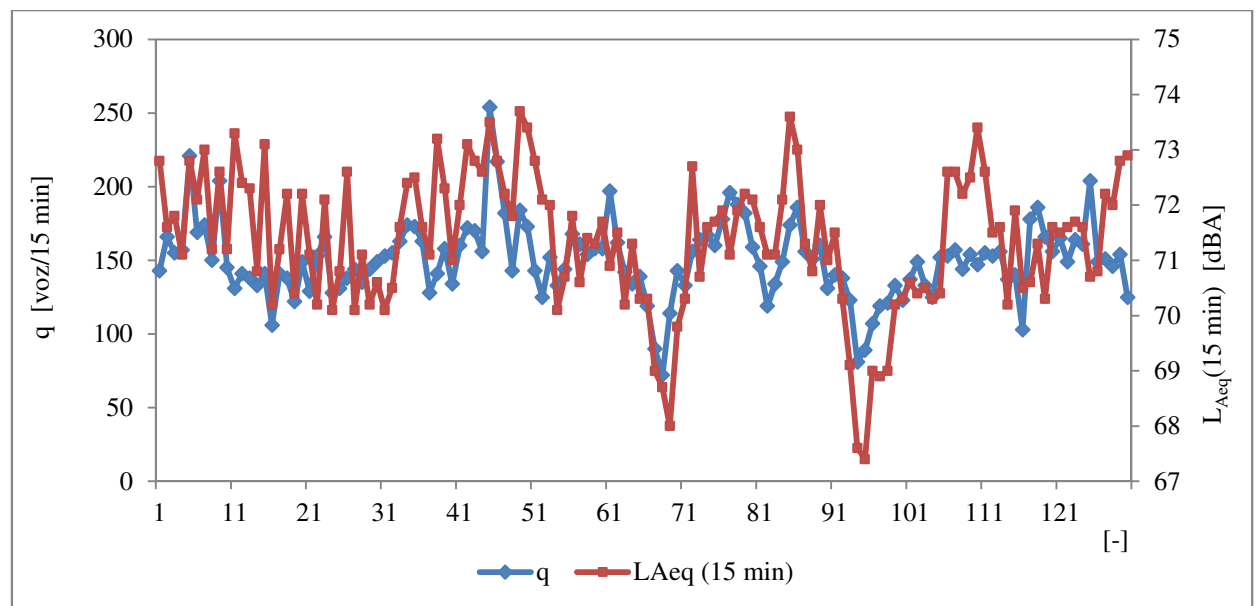
Приликом мерења буке у интервалима од по 1 h су прикупљани и остали параметри саобраћајног тока како би се утврдили у којој мери ови параметри доприносе промени еквивалентног нивоа буке. На сваком мерном месту у току 1 h мерен је укупан саобраћајни ток у оба смера, просечна брзина тока, просечна брзина путничких возила, структура тока према дефинисаној методологији класификовања возила као и заузеће индуктивне петље. Такође, је у току 1 h мерен проток на сваких 15 min како би се утврдио и фактор неравномерности саобраћаја у току једног сата. Фактор неравномерности се углавном кретао око 0,85 и 0,90 тако да је реч углавном о равномерном саобраћајном току. Приликом мерења буке у интервалу од 15 min је мерена структура тока и укупан проток возила. На основу оваквих резултата мерења нивоа буке и

саобраћајних параметара на одређеним локацијама могу се изнети запажања која могу послужити за доношење одређених закључака о утицају сваког параметра на укупни ниво буке.

На основу досадашњег излагања може се рећи да за процену буке у зони саобраћајнице али и у одређеној широј зони, од посебног је значаја утврђивање параметара саобраћајног тока (проток, брзина, структура тока и тд.) на што више тачака у саобраћајној мрежи. Треба истаћи да се мерењем нивоа буке независно од саобраћајних параметара и обрнуто не може дефинисати права веза између ових вредности, односно податак у којој мери саобраћај изражен преко ових појединачних параметара утиче на ниво буке. Потребно је обједињено посматрати све ове параметре а не појединачно на укупни ниво буке. Резултати ових мерења су детаљно приказани на сликама 5.42 – 5.43.



Слика 5.42. Промене еквивалентног нивоа буке $L_{Aeq}(1h)$ и укупног протока $q(voz/h)$ на путу М-5 у оба смера приликом узорковања буке на 1 h



Слика 5.43. Промене еквивалентног нивоа буке $L_{Aeq}(15 min)$ и укупног протока $q(voz/h)$ на путу М-5 у оба смера приликом узорковања буке на 15 min

Анализирајући часовну промену протока као и еквивалентне вредности измерене буке за исти период може се уочити да промене протока возила на посматраном делу пута готово директно утичу на промену еквивалентног нивоа буке мерног у зони саобраћајнице. То практично потврђује полазну претпоставку да еквивалентни ниво буке у потпуности прати промене у протоку возила, и упућује на чињеницу да се променом протока возила на једној саобраћајници може утицати на ниво еквивалентног нивоа буке. Оно што се такође, може уочити на сликама 5.42 и 5.43 јесте и чињеница да се приликом промене протока ниво еквивалентне буке не понаша баш на идентичан начин. Наиме са променом протока приметно је да за време највећих вредности протока крива еквивалентног нивоа буке бележи максималне вредности кад је у питању узроковање буке у интервалу од 1 h, док то није случај кад је у питању мерење буке на интервалу од 15 min. Међутим, када се бележе најмање вредности протока ниво еквивалентне буке не бележи најмање вредности. Ова појава се може пре свега објаснити чињеницом да приликом пада протока долази до пораста просечне брзине возила у саобраћајном току услед чега се генерише више буке од стране појединачних возила унутар саобраћајног тока.

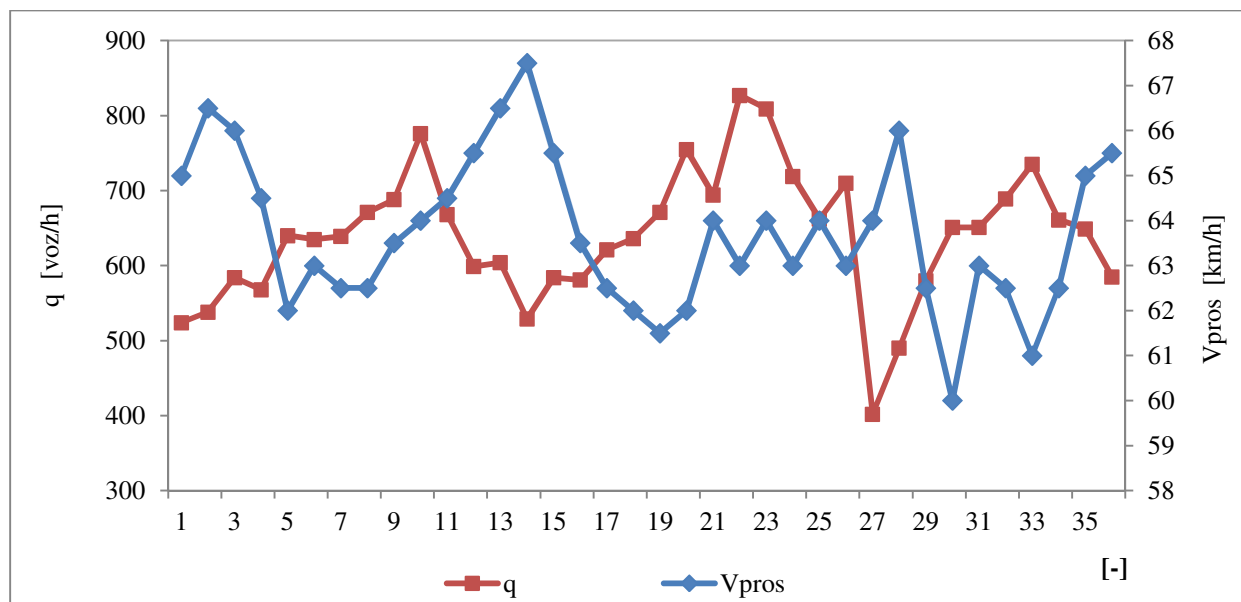
У табели 5.31. је дата упоредна анализа ниво буке у карактеристичним тачкама (минималне и максималне вредности измереног протока) као и вредности осталих саобраћајних параметара у тим тачкама.

Табела 5.31. Упоредна анализа измерене буке и осталих саобраћајних параметара за максималну и минималну вредност протока

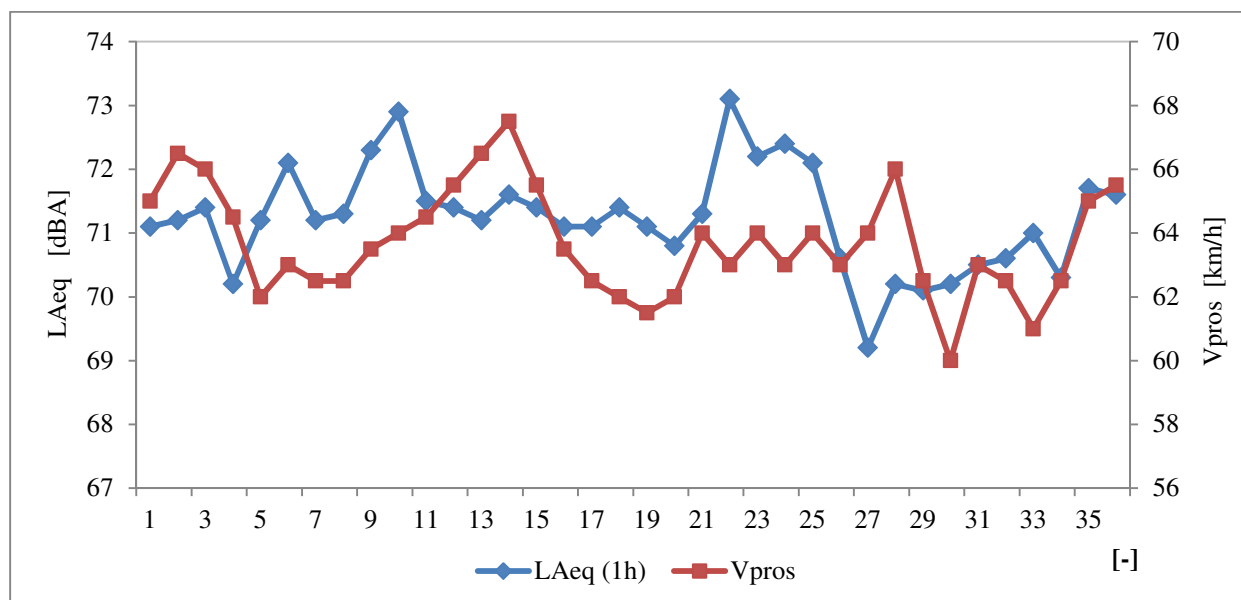
	$L_{Aeq}(1\text{ h})$ [dBA]	q за 1 h [voz/h]	V_{pros} [km/h]	% KB	g [voz/km]
Минимална вредност	69,2	402	64	8,7	6,28
Максимална вредност	73,1	827	63	12,1	13,13
Разлика	3,9	425	1,0	3,4	6,85

Из табеле 5.31 се може уочити да је промена протока возила од много већег значаја него промена брзине тока јер је проток готово удвостручен док се брзина тока приметно променила што је изазвало пораст вредности еквивалентног нивоа буке за око 3,9 dBA. Резултати мерења показују да се приликом повећања протока возила брзина тока смањује, при чему се бука знатније повећава него када је у питању смањење протока и повећање брзине тока возила. Ово се дешава пре свега јер се мења број возила по јединици дужине односно густина саобраћајног тока.

На сликама 5.44 и 5.45 су приказане вредности о протоку возила, просечној брзини тока и нивоа еквивалентне буке.



Слика 5.44. Промене укупног протока, (q) и просечне брзине тока (V_{pros}) на путу М-5 у оба смера приликом узорковања буке на 1 h



Слика 5.45. Промене просечне брзине тока (V_{pros}) и еквивалентног нивоа буке $L_{Aeq}(1 h)$ на путу М-5 у оба смера приликом узорковања буке на 1 h

На слици 5.44 се јасно може уочити да приликом пада протока долази до пораста просечне брзине тока што произилази из опште познате везе између протока, брзине и густине саобраћајног тока [37, 83]. Међутим, извлачење закључка да пад односно пораст брзине доводи до истих промена код еквивалентног нивоа буке није оправдано. На слици 5.45 се може приметити да са падом брзине ипак долази до пораста еквивалентног нивоа буке, док са порастом брзине може доћи до опадања овог нивоа буке. Овакво понашање еквивалентног нивоа буке је управо супротно понашању од онога које се често очекује, обзиром на често устаљено мишљење да смањењем брзине кретања возила се може директно смањити ниво еквивалентне буке. Ова тврдња се може доказати на исти начин као и код протока ако изаберемо тачке са максималном и минималном

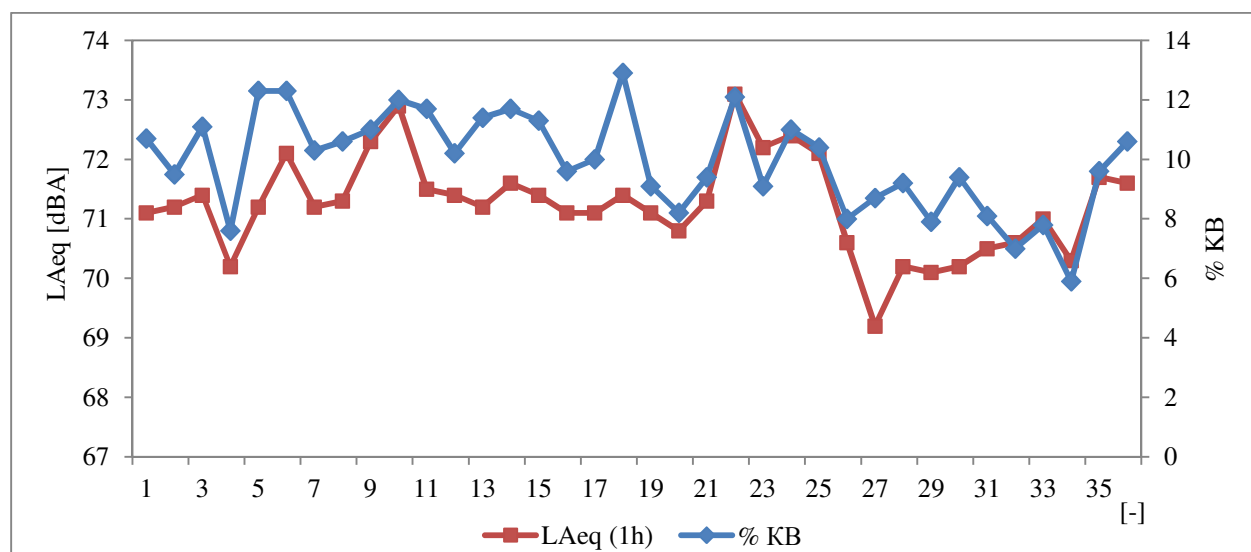
вредношћу просечне брзине тока и упоредимо са осталим параметрима тока и нивоом измерене буке (табела 5.32).

Табела 5.32. Упоредна анализа измерене буке и осталих саобраћајних параметара за максималну и минималну вредност брзине

	$L_{Aeq}(1 h)$ [dBA]	q за 1 h [voz/h]	$V_{прос}$ [km/h]	% KB	g [voz/km]
Минимална вредност	70,2	651	60	9,4	10,85
Максимална вредност	71,6	529	67,5	11,7	7,84
Разлика	1,4	122	7,5	2,3	3,01

Из табеле 5.32 видимо да промена брзине саобраћајног тока не доводи до већих промена нивоа буке управо из горе наведених разлога. Значај оваквог закључка лежи у чињеници да смањивањем односно ограничавањем брзине на некој саобраћајници би могло да има супротан ефекат на ниво буке од онога које се очекује. Овде треба имати у виду да ова тврдња важи ако се у различитим периодима мерења не ради о значајним разликама у брзини што често није случај кад су у питању ванградске саобраћајнице. Пре свега утицај ове карактеристике саобраћајног тока треба тражити у зонама слободног односно стабилног нормалног тока, пре свега јер у овим режимима тока брзина возила није под толиким утицајем густине возила.

Обзиром да се често истиче чињеница да је удео тешких возила на некој саобраћајници директан узрочник одређеног нивоа буке [5, 72, 84, 90] и упоређујући њихово процентуално кретање са нивоом еквивалентне буке такође, се могу извући одређени закључци. Обједињавајући податке о процентуалној заступљености средњих и тешких возила као и аутобуса у саобраћајном току у групу тзв. „комерцијалних возила“ (KB), можемо приметити да кад је овај проценат возила у саобраћајном току у порасту ниво еквивалентне буке донекле прати ове вредности али не баш чврсто, односно када је овај проценат највећи не бележи се највећа вредност еквивалентног нивоа буке.



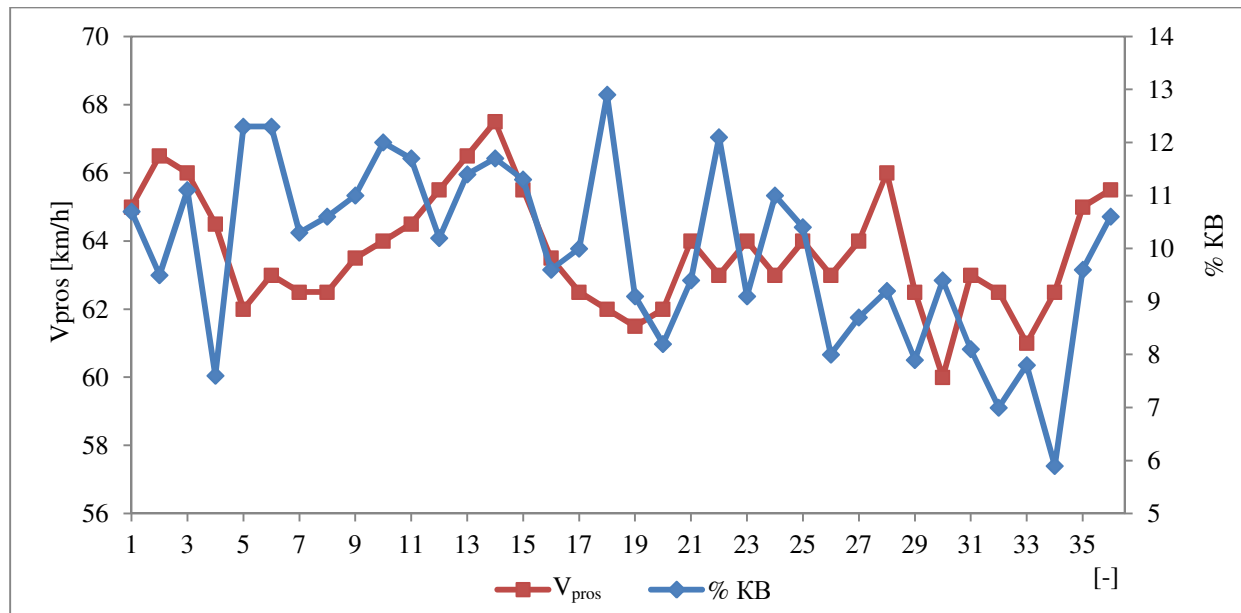
Слика 5.46. Промене процентуалног учешћа комерцијалних возила (% KB) и еквивалентног нивоа буке $L_{Aeq}(1 h)$ на путу М-5 у оба смера приликом узорковања буке на 1 h

Применом исте методологије за минималне и максималне вредности комерцијалних возила у току могуће је формирати табелу 5.33.

Табела 5.33. Упоредна анализа измерене буке и осталих саобраћајних параметара за максималну и минималну вредност процента комерцијалних возила

	$L_{Aeq}(1\text{ h})$ [dBA]	q за 1 h [voz/h]	V_{pros} [km/h]	% KB	g [voz/km]
Минимална вредност	70,3	661	62,5	5,9	10,58
Максимална вредност	71,4	636	62	12,9	10,26
Разлика	1,1	25	0,5	7	0,32

Из табеле 5.33 се уочава да иако постоје значајне разлике у учешћу комерцијалних возила у саобраћајном току промене у нивоу буке не бележе веће промене. Пре свега јер треба узети у обзир и каква је сама структура унутар ових комерцијалних возила. Ако у самој структури комерцијалних возила доминирају тешка теретна возила а према подацима из тачке 5.2.3 се може рећи да су то возила, која су са аспекта старости најновија возила онда се могу јасније разумети овакве ситуације. Са порастом процентуалног учешћа комерцијалних возила долази до благог пораста нивоа еквивалентне буке. Управо у томе лежи потврда потребе занављања и промене старосне структуре возног парка на ниво земље. Међутим, и овде доношење једностраног закључка о елиминацији комерцијалних возила из саобраћајног тока како би се смањио ниво еквивалентне буке може бити погрешан. Ово пре свега произилази из анализе података приказаних на слици 5.47 о односу просечне брзине саобраћајног тока и процентуалне заступљености комерцијалних возила.

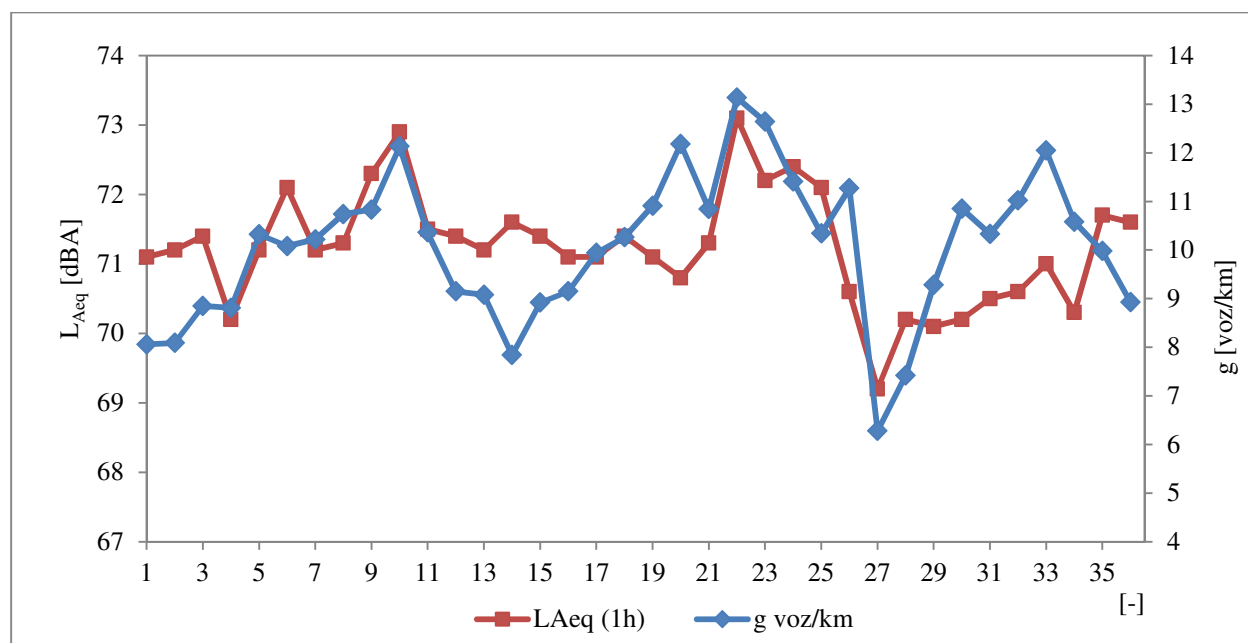


Слика 5.47. Промене процентуалног учешћа комерцијалних возила (% KB) и просечне брзине тока (V_{pros}) на путу М-5 у оба смера приликом узорковања буке на 1 h

На слици 5.47 се може уочити да смањивањем учешћа комерцијалних возила у саобраћајном току доводи до пораста просечне брзине тока услед чега се не би могла очекивати значајна побољшања. Смањивање процентуалног учешћа комерцијалних возила у саобраћајном току би

само повећало ниво значајности брзине а самим тим и протока возила због пораста густине, што би могло да доведе до погрешних закључака о чему је било речи.

Из мерења саобраћајних параметара и њихове анализе видљиво је да приступ појединачног анализирања сваког од њих и оцене њиховог доприноса на укупни ниво буке може често да доведе до погрешних закључака. Неопходно је пронаћи пре свега повољне саобраћајне услове који би се позитивно одразили на ниво буке. Ово је могуће објаснити пре свега кроз заједничку анализу саобраћајних параметара на ниво буке. Из спроведене анализе се може закључити да промена протока возила, а посебно структуре саобраћајног тока (% KB) је од много већег утицаја на ниво саобраћајне буке него промена брзине тока возила. Резултати мерења показују да се са повећањем протока возила брзина возила смањује при чему долази до значајније промене нивоа буке него што је то случај када долази до повећања брзине а смањења протока. У том смислу веза између нивоа емитоване буке, протока возила и брзине је интересантније пратити кроз параметар густине тока. Пре свега јер је веза између ових параметара сложена. Примера ради сасвим је јасно да до слабљења нивоа буке долази са повећањем растојања у односу на саобраћајницу [22], али се овде често губи из вида да слабљење нивоа буке битно зависи од интервала слеђења између возила, односно густине возила. Густина возила се веома често не користи као податак у било каквој анализи о нивоу саобраћајне буке. Кретање нивоа буке и густине саобраћајног тока у периоду од 1 h је приказано на слици 5.48.



Слика 5.48. Промене еквивалентног нивоа буке $L_{Aeq}(1 h)$ и густине возила (g) на путу М-5 у оба смера приликом узорковања буке на 1 h

Анализирајући податке приказане на слици 5.48 о промени густине саобраћајног тока и еквивалентног нивоа буке може се уочити да ниво буке довољно чврсто прати промене густине саобраћајног тока. Ако уочимо мерења за минималне и максималне вредности густине возила у току могуће је формирати табелу 5.34.

Табела 5.34. Упоредна анализа измерене буке и осталих саобраћајних параметара за максималну и минималну вредност густине возила

	$L_{Aeq}(1\text{ h})$ [dBA]	q за 1 h [voz/h]	V_{pros} [km/h]	% KB	g [voz/km]
Минимална вредност	69,2	402	64	8,7	6,28
Максимална вредност	73,1	827	63	12,1	13,13
Разлика	3,9	425	1,0	3,4	6,85

Анализирајући овај параметар саобраћајног тока може се закључити да се променом густине тока директно може утицати на ниво саобраћајне буке. Такође, се може приметити и чињеница да иако је брзина саобраћајног тока готово остала непромењена дошло је до удвостручавања густине тока. Ово се пре свега објашњава чињеницом пораста протока возила са променом структуре тока. Тумачења да се густина тока повећала због учешћа комерцијалних возила у току такође, може да наведе на погрешно тумачење резултата пре свега јер учешће оваквих возила у току пре свега утиче на смањење густине из разлога јер су дужа него остала возила. Ову тврдњу је могуће објаснити на следећи начин. Наиме полазећи од одређене брзине тока за већ познату вредност протока (када је у питању непрекинут саобраћајни ток) услед пораста брзине да би се одржао приближно исти проток доћи ће до пада густине саобраћајног тока. Ако је на пример пад вредности густине око 30 % уз просечно учешће комерцијалних возила око 10%, ово би за последицу директно требало да има пад вредности буке за око 30 %. Међутим, то неће бити случај обзиром да при већим брзинама густина тока пада, јер возачи држе већа растојања слеђења при чему саобраћајни ток почиње више да се понаша као тачкасти извор буке. У случају пораста густине саобраћајног тока за одређену проценту вредност при истом саставу тока долази до пада брзине тока јер возачи почињу да држе мања растојања слеђења при чему саобраћајни ток почиње да се понаша као линијски извор буке [33, 85, 86]. Возила се крећу у нижим степенима преноса услед чега мотор ради при већем броју обртаја коленастог вратила, чиме се повећава утицај буке мотора и система за издувавање. Такође, овде треба имати на уму и чињеницу да се ипак ради о релативно малим густинама. Промене у густини такође, утичу и на проток возила, са којим је лакше управљати него са густином тока, тако да густина тока у самом моделу не би имала управљачки значај колико сам проток и брзина тока. Овакви односи између основних параметара саобраћајног тока произилазе пре свега из њихових основних функционалних веза [37].

Посматрање феномена буке коју генерише саобраћајни ток и повезивање нивоа буке само са појединим параметрима саобраћајног тока би довело да погрешних закључака како у фазама пројектовања тако и у фазама управљања саобраћајем на посматраним саобраћајницама. У табели 5.35 је дата корелациона веза свих утицајних параметара саобраћајног тока са експерименталним вредностима буке али и између себе.

Табела 5.35. Корелациона веза свих утицајних параметара саобраћајног тока са експерименталним вредностима буке али и између себе

Корелација	Експеримент L_{Aeq} [dBA]	q за 1 h [voz/h]	V_{pros} [km/h]	g [voz/km]	% KB
Експеримент L_{Aeq} (dB(A))	1	0,584	0,153	0,501	0,664
q (voz/h)	0,584	1	-0,481	0,988	0,023
V_{pros} (km/h)	0,153	-0,481	1	-0,608	0,264
g (voz/km)	0,501	0,988	-0,608	1	-0,026
% KV	0,664	0,023	0,264	-0,026	1

Из табеле 5.35 јасно се може уочити да највећи утицај на ниво измерене буке код свих мерења у периоду од 1 h има састав и структура тока 0,664 односно проток возила 0,584. Густина саобраћајног тока која такође, има значајну корелациону везу са нивоом буке (0,501) је у моделу разматрана кроз однос брзине кретања појединих категорија возила и укупног протока возила. Ово и јесте основни разлог уврштавања ових параметара (протока појединих категорија возила чиме је изражена структура тока и просечне брзине саобраћајног ток у јединици времена) у сам модел за предикцију буке. Међусобна веза осталих параметара је показала да је највећа веза између протока и густине тока (0,988). То указује да се сагледавање буке саобраћајног тока мора анализирати кроз ове параметре и њихове међусобне везе.

6. РАЗВОЈ МАТЕМАТИЧКОГ МОДЕЛА

Буку коју ствара саобраћај може бити или измерена или израчуната неким од модела за предикцију саобраћајне буке. Мерење буке је веома комплексно и временски захтевно спроводити на терену пре свега што је оваква мерења могуће спровести само код постојеће путне мреже док је код саобраћајница које су у фази пројектовања и планирања ово немогуће. Ако би смо занемарили неке друге разлоге довољно је рећи да само због ова два разлога је потребно да постоји поуздан модел за предикцију саобраћајне буке. Обзиром да бука данас као параметар оцене квалитета утицаја на животну средину добија све већи значај, а што је посебно битно у фазама пројектовања нове путне мреже и процене њеног утицаја на животну средину, модел за предикцију буке је незаменљив алат како у фазама пројектовања тако и у фазама експлоатације и одржавања путне инфраструктуре као и управљању саобраћајем.

На путевима се одвија саобраћај различитих возила која се посматрајући појединачно крећу различитим брзинама са различитим возно-динамичким карактеристикама и врстама пнеуматика. Предвиђање нивоа буке у тачки имисије се може анализирати у односу на два аспекта. Први аспект подразумева опис возила као феномен генерисања буке који се може описати као комбинација различитих извора буке на самом возилу. Сваки овај извор буке има одређен положај на возилу и звучну снагу [44, 47]. Као додатни аспект посматрања могу се уврстити односи који се појављују између брзине возила и извора буке на возилу као што је то пример код пнеуматика и аеродинамичке буке возила. Ова бука зависи од врсте возила као и од техничког стања самог возила. То практично значи да бука која се генерише од стране појединачног возила је у функцији неколико различитих параметара о којима је било речи раније.

Други аспект подразумева услове одвијања саобраћаја као и карактеристике самог саобраћајног тока [5, 9, 29]. Буку коју производи саобраћајни ток обухвата емисију буке коју

производе појединачна возила у току крећући се по неком одређеном редоследу и правилима тока. Овде се може рећи да емисија буке коју производи одређени саобраћајни ток зависи пре свега од параметара саобраћајног тока (протока возила, структуре тока, брзине и тд.) као и карактеристика самог пута.

Да би се одредио еквивалентни ниво буке у зони саобраћајнице помоћу неког модела потребно је познавати одређен број улазних података. Једна група података је везана за емитовање буке од стране појединачног возила, док је друга група података везана за карактеристике саобраћајног тока, везу између ових параметара, као и низ других података који су значајни за тачну процену еквивалентног нивоа буке [20, 22, 87, 88, 89]. Сваки од ових параметара даје посебне информације које важе за одређене услове. Имајући у виду утицајне параметре на генерисање буке потпуно је логично закључити да ће се променом једног од њих утицати на измерени ниво буке. Неопходно је дефинисати најутицајније параметре за квантитативно одређивање буке као и методе анализе за утврђивање тачних релација између ових параметара и саме буке. На основу реално анализираних услова саобраћајног тока на посматраној саобраћајници могу се створити услови за сагледавање ранга утицајних параметара при чему је могуће створити довољно јаке аргументе за утврђивање улазних података у одређени модел у циљу сагледавања нивоа буке. За сада не постоји јединствени модел на глобалном нивоу за предикцију саобраћајне буке [17, 42, 90].

На основу досадашњег излагања јасно се може закључити да постоје различите методе за предикцију буке у различитим земљама. Такви модели који се користе за предикцију буке се пре свега разликују према односу и броју параметара које узимају приликом калкулације буке, али и према нивоу детаљалја када су у питању технички и акустични параметри. Потребно је пре свега узети у разматрање и дискусију велики број параметара које један модел за предикцију буке може узети у разматрање ако се жели постићи његова оптимизација. Сасвим је јасно да постоје одређене границе за побољшање једног модела за предикцију буке чак и када се формирају врло сложени модели. Пример ове тврдње се може пронаћи у детаљном одређивању одређених утицајних параметара на преносном путу буке који пре свега важе у тим околностима, или пак их је веома тешко прибавити мерењем на терену како би се могли применити у моделу. Са друге стране неки други параметар има значајну улогу али се у том тренутку занемарује. Може се закључити да постоје утицаји различитих феномена на сам крајњи резултат, тако да је потребно водити рачуна о равнотежи пре свега прикупљања и доступности одређених података, трошкова и напора да се такви различити феномени опишу како би крајњи резултат могао да буде реалан и практично применљив.

Моделирање саобраћајне буке посматрано са теријског аспекта је доста сложено, пре свега због великог броја различитих фактора који улазе у модел са једне стране, али и због сложености или недостатака одређених једначина које на задовољавајући начин описују односе између нивоа буке и појединачних фактора који утичу на тако генерисану буку. Управо из наведених разлога се углавном развијају такви математички модели за предикцију буке који се

заснивају на експерименталним мерењима буке на конкретним мерним локацијама и повезивање тако мерених резултата са одређеним параметрима саобраћајног тока. Сасвим је јасно да постоји јасно оправдана потреба за развијањем математичког модела за прорачун саобраћајне буке који ће пре свега узети у обзир карактеристике самог саобраћаја на одређеној локацији, односно преваходно структуру и параметре тако посматраног саобраћајног тока.

Раније је речено да еквивалентни ниво буке најверније описује феномен буке саобраћајног тока са једне стране, али и довољно добро прати промене у саобраћајном току са друге стране [24]. У поглављу 5 приказана је анализа саобраћајних токова на посматраној саобраћајници и кретање еквивалентног нивоа буке у периоду од по 1 h, како би се испитало слагање овог индикатора буке са променама у саобраћајном току у посматраном периоду. Након тога је прикупљено више узорака овог индикатора у временским интервалима од по 15 min како би се детаљније анализирао утицај нивоа буке у мањим временским јединицама од 1 h. Ово је урађено јер је најјачи утицај буке на човека, односно на људе који живе у близини оваквих саобраћајница нормално настаје у време вршних оптерећења. Вредности које су забележене на терену су неопходне и због калибрације самог модела који би био у стању да на задовољавајући начин предвиди ниво буке на одређеном одсеку пута у било ком сату у току дана на основу параметара и структуре саобраћајног тока.

Следећи корак у развоју модела за предикцију буке насталу од саобраћајног тока јесте имплементација утврђених података о еквивалентном нивоу буке појединих категорија возила L_{Aeq} (20 s) у модел за предикцију еквивалентног нивоа буке саобраћајног тока у периоду од 1 h - L_{Aeq} (1 h) односно у периоду од 15 min - L_{Aeq} (15 min), који је састављен од различитих категорија возила која се крећу различитим брзинама кретања на посматраном пресеку пута.

У циљу развоја одговарајућег математичког модела који је у стању да предвиди, на одговарајући и задовољавајући начин, ниво еквивалентне буке неопходно је да модел задовољи и још неке услове а то су:

1. да буде довољно једноставна да може бити прихватљив и разумљив за оне који се баве урбаним планирањем,
2. да захтева податке који се веома лако и једноставно прикупљају или предвиђају и
3. довољно добро одсликава ниво буке који одговара субјективном доживљају саобраћајне буке.

Поред ова три постављена услова овде треба поставити и један додатни услов који се може се рећи, на неки начин и подразумева, али га многи модели често занемарују [29, 42]. Улазни параметри у сам модел треба да буду управљачки, односно потребно је разматрати и изабрати оне величине на које је могуће директно или индиректно утицати како би модел могао пре свега да има практичну примену. То практично значи да од могућих прикупљених величина треба разматрати оне које могу бити управљачке величине (нпр, проток, брзина, структура и тд.) а све остале величине које се често убрајају у део такозваних корекционих величина треба свести на минималну могућу меру, јер на њих пре свега није могуће директно утицати (нпр, брзина, правац

и смер ветра, температура, падавине и тд.). Самим избором одговарајућих улазних величина један модел може имати или практични или теоријски значај.

Поред тога оно што се може такође, дефинисати за један модел, у принципу, је то да то није само компјутерски софтвер. Прихватање модела из других земаља без дубље анализе самог модела у смислу примењивости модела условима и карактеристикама саобраћаја који важе за одређено подручје, треба схватити као недовољно разумевање ове проблематике. Модел за прогнозирање буке мора пре свега бити описан и дефинисан под којим и каквим условима важи. У том смислу математичке моделе треба схватити као апроксимацију који као улазне параметре узимају одређени број процењених података које је неопходно калибрисати за поједине земље, регионе и градове како би се добила најбоља слика о процењеном нивоу буке на основу тако усвојеног модела.

6.1. Општи услови у којима је модел дефинисан

Пре развоја самог модела неопходно је дефинисати одређене услове у којим се може рећи да је модел адекватан. Сам модел за предикцију саобраћајне буке је развијен да предвиди ниво у стандардним условима што подразумева ситуације у којим је коловозна површина сува, на коме не постоји снег, лед и било какав облик влаге а што се исто односи и на околни терен. Такође, модел треба да предвиђа ниво буке у тзв. неутралним метеоролошким условима што подразумева услове без падавина, магле и претерано ниских или високих температура као и брзине ветра које су испод 2 m/s. Модел је тако конципиран да врши предикцију буке у тзв. слободном звучном пољу што подразумева да нема рефлексије од околних објеката или великих рефлексних површина, као и да не постоји дифракција и апсорпција обзиром да се ради о моделу који предвиђа ниво буке непосредно у зони саобраћајнице. Модел треба да буде искоришћен за предикцију буке и на већим растојањима од саобраћајнице али би тада требало узети у обзир одређене корективне факторе. Такође, модел није узимао у обзир утицај температуре коловозне површине за коју се по истраживању показало да има одређени утицај на ниво буке која се генерише од стране међусобне интеракције пнеуматик – коловоз [51]. На основу овако дефинисаних стандардних услова модел је развијен да предвиди ниво еквивалентне буке по тежинској криви А у зони саобраћајнице за временски интервал Т – у ознаци $L_{Aeq}(T)$. Суштинска разлика у односу на остале познате модел пре свега лежи у чињеници да је модел пре свега у могућности да предвиди ниво еквивалентне буке за дефинисани временски интервал што није случај код многих модела обзиром да су они оријентисани најчешће на временски интервал од 1 h. Сам развој модела је подељен у неколико фаза:

1. фаза – подразумева структурирање саобраћајног тока на одговарајуће акустично карактеристичне категорије возила. Ова фаза развоја модела подразумева емпиријски рад у циљу прикупљања података и анализе самог саобраћајног тока,

2. фаза - подразумева развој емисионог модела на растојању 7,5 m од правца кретања возила одређене категорије возила. И ова фаза подразумева емпиријски рад, тако што је потребно мерити буку одређених категорија возила у реалним условима кретања на одређеној саобраћајници, заједно са мерењем брзине кретања ових категорија возила. Ова фаза је урађена у складу са анализом различитих истраживања [13, 24]. На основу истраживања су развијене одговарајуће везе између стварне брзине кретања возила у реалним условима и буке коју емитује возила кроз одговарајуће регресионе криве,
3. фаза – подразумева развој самог модела који дефинише ново буке у зони саобраћајнице на основу одговарајућих параметара саобраћајног тока. Ова фаза подразумева развој одређених веза између емисионих вредности појединих категорија возила и њиховог заједничког дејства у оквиру саобраћајног тока који се креће одговарајућом просечном брзином. У том смислу се може сматрати да се сва возила у саобраћајном току крећу средњом просторном брзином која се добија на основу локалних мерења. Овакав начин моделирања омогућава праћење доприноса појединих категорија возила унутар саобраћајног тока како по саобраћајним тракама тако и у односу на читаву саобраћајницу, чиме се омогућава реално управљање саобраћајем на мрежи.

Овакав приступ моделу омогућава пре свега могућност да се на реалан начин управљања пре свега буком кроз управљање одређеним саобраћајним параметрима, са којима је могуће управљати у реалном времену а односи се пре свега на брзину и структуру саобраћајног тока.

6.2. Моделирање буке непрекинутог саобраћајног тока при нормалном простирању буке у односу на саобраћајну траку

Употреба одређених модела за предикцију саобраћајне буке који се данас примењују у појединим земљама, неће дати одговарајуће резултате из једноставног разлога јер не укључују у себе специфичне карактеристике саобраћаја на посматраној локацији, структуру саобраћајног тока, као и специфичне начине управљања возилима у таквом саобраћајном току. Управо из ових разлога је развијен модел који ће најреалније да дефинише ниво саобраћајне буке за тако специфичне улазне податке.

Изражавање временски променљивог нивоа буке помоћу еквивалентног нивоа успоставља се веза са временом излагања буци, чиме се омогућава процена штетног дејства буке. У основи се изражава дужину излагања посматраном променљивом нивоу буке у одређеном фреквенцијом опсегу коришћењем одговарајуће тежинске криве. У суштини ова мера даје нумеричку вредност променљиве буке која је еквивалентна нивоу константне буке са истом укупном енергијом, односно представља просечну енергију нивоа буке за неки одређени период времена [61, 73]. За израчунавање еквивалентног нивоа буке саобраћаја полази се од појединачног возила као посебног извора буке. Начин утврђивања вредности еквивалентног нивоа буке

појединачног возила је ближе објашњено у тачки 4.11 и 5.7. Математички опис овога може бити дат преко следећег израза 6.1:

$$L_{Aeq}(T) = 10 \log \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt, \quad (6.1)$$

где је:

$L_{Aeq}(T)$ – еквивалентни ниво буке у временском интервалу T [dBA],

$p(t)$ - звучни притисак [N/m^2] и

p_0 – референтна вредност звучног притиска [$2 \times 10^{-5} N/m^2$].

Еквивалентни ниво звучног притиска у периоду времена T ($L_{Aeq}(T)$) се може написати и у следећем облику:

$$L_{Aeq}(T) = 10 \log \left[\frac{1}{T} \left[\int_{-T/2}^{-10} 0 dt + \int_{-10}^{+10} \frac{(p(t))^2}{(p_0(t))^2} dt + \int_{+10}^{T/2} 0 dt \right] \right], \quad (6.2)$$

где је:

T – временски интервал (период $T=t_2-t_1$) у [s],

односно израз 6.2 се може приказати у скраћеном облику:

$$L_{Aeq}(T) = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_{-10}^{+10} \frac{(p(t))^2}{(p_0(t))^2} dt \right]. \quad (6.3)$$

Даљим сређивањем израза 6.3 и повезивање овог израза са изразом 4.8 може се формирати израз 6.4:

$$L_{Aeq}(T) = 10 \log \left[\frac{20}{T} \frac{1}{20} \left[\int_{-10}^{+10} \frac{(p(t))^2}{(p_0(t))^2} dt \right] \right], \quad (6.4)$$

односно сређивањем израза 6.4 могуће је добити израз 6.5:

$$L_{Aeq}(T) = 10 \log \left[\frac{1}{20} \int_{-10}^{+10} \frac{(p(t))^2}{(p_0(t))^2} dt \right] + 10 \log \frac{20}{T}. \quad (6.5)$$

Обзиром да први део израза 6.5 представља еквивалентну вредности нивоа буке појединачног возила у периоду од 20 s ($L_{Aeq}(20s)$), изводи се закључак да се еквивалентни ниво буке у периоду T може проценити на основу еквивалентне вредности ниво буке појединачног возила у периоду од 20 s ($L_{Aeq}(20s)$) према изразу:

$$L_{Aeq}(T) = L_{Aeq}(20s) + 10 \log \frac{20}{T}, \quad (6.6)$$

односно израз 6.6 се за возило одговарајуће категорије i може написати у облику:

$$L_{Aeq}(T)_i = L_{Aeq}(20s)_i + 10 \log \frac{20}{T}, \quad (6.7)$$

где је:

$L_{Aeq}(20s)_i$ – еквивалентни ниво буке појединачног возила у пролазу категорије i мерено у интервалу од 20 s [dBA].

Ако у посматраном временском интервалу прође n возила у свакој саобраћајној траци изражен кроз проток возила Q , и ако се пође од израза 6.3 онда се може добити израз 6.8 који одсликава допринос протока у посматраном временском интервалу T :

$$L_{Aeq}(T) = 10 \log \left[\frac{Q}{T} \int_{-10}^{+10} \frac{(p(t))^2}{((p_0(t))^2)} dt \right], \quad (6.8)$$

где је:

Q – проток возила у посматраном временском интервалу T [voz/t].

Ако је мерење буке вршено на растојању D у односу на референтну тачку мерења еквивалентне вредности појединачног возила у проласку D_0 , онда се може добити израз 6.9 који одражава утицај и ове карактеристике на ниво еквивалентне буке саобраћајног тока:

$$L_{Aeq}(T) = 10 \log \left[\frac{Q}{T} \frac{D_0}{D} \int_{-t_1}^{+t_2} \frac{(p(t))^2}{(p_0(t))^2} dt \right], \quad (6.9)$$

где је:

D – растојање мерено од правца кретања возила до места на коме се мери бука саобраћајног тока под правим углом изражено у [m] и

D_0 – референтно растојање мерења буке појединачног возила у пролазу $D_0 = 7,5$ m.

Сређивањем израза 6.9 и повезивањем са изразом 6.5 може се добити израз 6.10 у облику:

$$L_{Aeq}(T) = 10 \log \left[\frac{1}{20} \int_{-10}^{+10} \frac{(p(t))^2}{(p_0(t))^2} dt \right] + 10 \log Q + 10 \log \frac{D_0}{D} + 10 \log \frac{20}{T}. \quad (6.10)$$

Обзиром да расподела протока по саобраћајним тракама није равномерна неопходно је извршити оцену утицаја неравномерности протока по смеровима на ниво измерене буке у тачки пријема као и удаљеност саобраћајне траке у односу на тачку мерења буке. Ова карактеристика се уводи у модел из разлога јер је јасно познат утицај ове карактеристике саобраћајног тока на постизање вредности засићеног тока а самим тим и на оптималну вредност нивоа буке [58, 91, 92]. Обзиром да први део израза 6.10 представља еквивалентну вредности нивоа буке појединачног возила у периоду од 20 s ($L_{Aeq}(20s)$), израз 6.10 је могуће трансформисати у израз:

$$L_{Aeq}(T)_{i,j} = L_{Aeq_{i,j}}(20s) + F_j 10 \log Q_{i,j} + 10 \log \frac{D_0}{D_j} + 10 \log \frac{20}{T}, \quad (6.11)$$

где је:

$L_{Aeq,i,j}(T)$ – еквивалентни ниво буке возила категорије i у саобраћајној траци j [dBA],

Слика 6.1

$L_{Aeq,i,j}(20s)$ – еквивалентни ниво буке појединачног возила категорије i у саобраћајној траци j у функцији брзине кретања возила [dBA],

F_j – фактор неравномерности протока у саобраћајној траци j у односу на укупан саобраћајни ток,

$Q_{i,j}$ – проток возила категорије i у саобраћајној траци j [voz/t],

D_j – растојање мерења буке саобраћајног тока од тачке мерења до средине саобраћајне траке j [m] и

T – временски интервал за који се утврђује еквивалентни ниво буке ако је еквивалентни ниво буке појединачног возила категорије i вршен у интервалу од 20 s према дефинисаној методологији.

На основу израза 6.11 могуће је добити нивое еквивалентне буке одговарајућих категорија возила i у одговарајућој саобраћајној траци j . Даље је неопходно дефинисати ниво еквивалентне буке свих категорија возила у једној саобраћајној траци, што је могуће учинити преко израза 6.12:

$$L_{Aeq}(T)_j = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{Aeq,i,j}(T)}{10}}, \quad (6.12)$$

где је:

n – број категорија возила за које се рачуна еквивалентни ниво буке.

Како је могуће имати више саобраћајних трака на једном путу коначни израз за дефинисање нивоа еквивалентне буке возила који се крећу у више трака у истим или различитим смеровима се може дефинисати изразом:

$$L_{Aeq}(T) = 10 \log \sum_{j=1}^N 10^{\frac{L_{Aeq,j}(T)}{10}}, \quad (6.13)$$

где је:

N – број саобраћајних трака за које се рачуна еквивалентни ниво буке.

На основу претходних израза је описан математички модел за утврђивање еквивалентног нивоа буке у дефинисаној тачки. За утврђивање оваквог нивоа буке искоришћен је еквивалентни ниво буке појединачног возила одређене категорије које се креће одговарајућом брзином. Овакав ниво буке је затим коригован вредностима протока појединих категорија возила на ниво буке у посматраној саобраћајној траци. Додатна корекција је урађена кроз утицај неравномерности тока по смеровима и даљине мерења у односу на референту вредност даљине мерења еквивалентне вредности буке појединачног возила у пролазу. Величине које су ушле у сам модел су пре свега

величине помоћу којих је могуће управљати. Обзиром да модел користи брзине појединих категорија возила у пролазу, овде је уведена претпоставка да се сва возила у саобраћајном току крећу просечном брзином која одговара средњој просторној брзини тока. Оваква апроксимација можда у појединим случајевима доводи до погрешних вредности буке возила обзиром да постоји одступање брзине кретања појединих возила од просечне вредности брзине тока. Утврђивање брзине појединих категорија возила унутар саобраћајног тока би повећало тачност модела.

Модел је могуће представити и једноставније ако се уведе услов да се возила која се крећу у саобраћајним тракама могу апроксимирати као један низ возила која се крећу у једном низу и једном смеру са обједињеним протоком и просечним вредностима параметара тока за све низове и смерове. У том смислу није неопходно дефинисати нивое буке по саобраћајним тракама већ је могуће одмах дефинисати укупан ниво буке за посматрану саобраћајницу према следећем изразу:

$$L_{Aeq}(T)_i = L_{Aeq_i}(20s) + 10 \log Q_i + 10 \log \frac{D_0}{D} + 10 \log \frac{20}{T}, \quad (6.14)$$

где је:

Q_i – обједињени проток возила категорије i из свих саобраћајних трака [voz/t] и

D – растојање мерења буке саобраћајног тока у односу на средину пута [m].

На основу израза 6.14 могуће је добити нивое еквивалентне буке одговарајућих категорија возила, а затим ниво еквивалентне буке читавог саобраћајног тока на основу израза:

$$L_{Aeq}(T) = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{Aeq_i}(T)}{10}}, \quad (6.15)$$

где је:

n – број категорија возила за које се рачуна еквивалентни ниво буке.

Израз 6.15 даје могућност добијања еквивалентног нивоа буке у дефинисаном временском интервалу T . Овакав приступ упросечује одређене вредности саобраћајног тока услед чега се губи могућност прецизнијег управљања саобраћајном буком. Пре свега јер се губи могућност тумачења доприноса појединих саобраћајних трака на укупни ниво саобраћајне буке, са једне стране и доношења одговарајућих управљачких активности са друге стране (нпр. увођење саобраћајних трака са променљивим смером кретања у појединим периодима дана). Ово произилази из чињенице да је један од услова развоја и одабира самог модела за предикцију саобраћајне буке био и избор оних улазних величина у сам модел који би на неки начин могли да се контролишу услед чега је могуће контролисати и ниво емитоване саобраћајне буке. Међутим, обзиром да је веома отежано управљање распоредом коришћења саобраћајних трака, нарочито на ванградској мрежи овакав приступ има пре свега практично оправдање. Детаљнија анализа резултата самог модела као и упоредна анализа са другим познатим моделима који се данас користе у свету је дато у оквиру тачке 7.

7. ВЕРИФИКАЦИЈА И ВАЛИДАЦИЈА РЕЗУЛТАТА МОДЕЛИРАЊА НА БАЗИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИХ РЕЗУЛТАТА

У циљу тумачења излазних резултата самог модела, његове верификације и валидације неопходно је разјаснити одређене појмове који се данас употребљавају приликом једне овакве анализе, посебно модела за предикцију буке. Пре свега је неопходно да се јасно разграниче одређени појмови када је у питању верификација и валидација самих резултата модела.

На првом месту је тачност самог модела, која се може најједноставније дефинисати као одступање добијених резултата у односу на оне вредности које су добијене мерењем у „идеалним“ условима [85, 94]. Под идеалним условима се овде могу сматрати они услови који су окарактерисани одсуством одређених неизвесности које се могу појавити приликом мерења. На другом месту јесте прецизност самог модела, који се може описати као разлика између резултата који могу да настану ако се модел за предикцију буке примени од стране других под идентичним условима. На трећем месту је у питању једноставност самог модела или у ширем смислу могућност примене самог модела од стране ширег круга корисника који може бити дат као одређено софтверско решење. Ово практично значи да сви кораци од уноса података до добијања резултата морају бити јасни, недвосмислени, разумљиви као и да омогуће добијање одређених резултата у сваком појединачном кораку колико је то могуће. На овај начин се може постићи праћење потенцијалних грешака које може да генерише модел у свакој својој фази чиме се модел значајно поједноставља и ставља на располагање ширем кругу корисника.

Циљ самог модела је да квантификује буку у тачки имисије да би се таква вредност могла упоредити са прописаним граничним вредностима. Из тог разлога је неопходно да сам модел буде довољно тачан како би резултирао оним нивоом буке који одсликава реално стање а којем су изложени људи и околина. Међутим, ако се сам модел користи за оцену неког стања у односу на

одређена законска ограничења онда прецизност модела долази значајно до изражаја у односу на његову тачност. Примера ради, код оцене граничних вредности буке у односу на дефинисано законско ограничење одступање од ± 1 dBA може проузроковати прекорачење прописане граничне вредности што може изазвати одређену казну или забрану даљег обављања одређене делатности. Ово је једноставно решити ако је у питању постојеће стање, али ако је у питању пројектовано стање онда се овакве анализе заснивају искључиво на прецизности самог модела иако овакве вредности одступања самог модел јесу занемарљиви за самог човека. То се може једноставно илустровати једним примером. Корекције у самом моделу услед нагиба пута производе значајне промене у емисији буке када се примењују различити модели. Ниво буке на успону пута се повећава пре свега због повећане буке мотора а не због промењеног односа пнеуматик-коловоз, односно мења се фреквентни садржај буке. То практично значи да коришћење одређених корекција које важе у одређеном фреквентном опсегу, на свим осталим фреквентним подручјима неће бити одговарајуће и могу бити чак погрешне, као што је то случај код модела као што су Nord 2000 и HARMONOISE (*HARMONOISE - Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management Of Environmental Noise*). Код ових метода на пример корекција везана за површину коловоза, која зависи од врсте и старости коловоза, генерално гледано је применљива и код израчунавања буке пнеуматика, а са друге стране корекција везана за убрзање и успорење је применљива код буке мотора. Међутим, непотребно је израчунавати корекцију буке у уским фреквентним појасевима, ако укупна корекција износи преко 3 dBA [93, 94].

Ова анализа је дата из разлога јер је превасходно потребно дефинисати оптималан однос између тачности и прецизности самог модела. Научници и експерти који се баве овом проблематиком често инсистирају на повећању тачности самог модела укључујући све више и више променљивих које описују поједине феномене. Ово доводи до тога да је неопходно и потребно дефинисати сваку од ових променљивих, које су често антагонистички постављене, услед чега производе одређена неслагања и смањују прецизност самог модела. Сумирајући изнете чињенице може се рећи да постоји тенденција код многих модела да описују емисију буке све детаљније и детаљније. Овакав приступ смањује прецизност и једноставност модела до те мере да је немогуће то оправдати повећањем тачности добијених резултата. Корекција буке због кретања возила по различитим коловозним површинама, коју емитује возило у одређеном фреквентном опсегу, би практично могла бити замењена одређеним моделом који утврђује ниво емитоване буке возила у пролазу за одређену коловозну површину. Овим приступом би се избегле све непотребне корекције које могу генерисати одређену грешку, и уједно остварио одређени баланс између појединих циљева који се постављају испред модела за утврђивање ниво емитоване буке саобраћајног тока.

7.1. Валидација и верификација резултата моделирања

На основу изнетих чињеница у предходним излагањима валидација и верификација модела је урађена у две фазе. Прва фаза обухвата упоредну анализу добијених резултата на основу спроведеног експерименталног мерења на терену и резултата добијених из модела. Друга фаза обухвата упоредну анализу резултата предложеног модела са резултатима познатих и развијених модела, који се данас најчешће користе у свету за ову врсту анализе, кроз статистичко упоређивање резултата самих модела.

7.1.1. Валидација и верификација резултата модела за предикцију буке на бази експерименталних мерења

За развоја модела за предикцију буке први корак је био утврђивање емисионих вредности појединих категорија возила. Зато су урађена експериментална мерења и развијене одговарајуће аналитичке везе између емитованог нивоа буке појединачног возила и брзине кретања у реалним условима одвијања саобраћаја. Статистичком обрадом података извршено је упоређивање добијених резултата експерименталног мерења и резултата добијених применом усвојеног модела [76, 95]. Резултати ове упоредне анализе су приказани у табели 7.1.

Табела 7.1. Упоредна анализа експерименталних резултата и резултата добијених применом модела за ниво емитоване буке возила у проласку $L_{Aeq}(20 s)$ одређеном брзином V

Статистички параметри		Категорија возила							
		ЛМВ		СТВ		ТТВ		БУС	
		Експери. вредности	Вредно. из модела	Експери. вредности	Вредно. из модела	Експери. вредности	Вредно. из модела	Експери. вредности	Вредно. из модела
$L_{Aeq}(20s)$ [dBA]	Број узорака	130		55		35		35	
	Минимална вредност	46,2	46,7	55,8	59,2	66,7	68,8	66,9	67,7
	Максимална вредност	70,5	67,4	76,2	74,8	78,9	78,2	78,7	77,5
	Просечна вредност	60,57	60,56	69,32	69,33	74,53	74,53	72,35	72,35
	Стандардно одступање	5,36	5,04	4,54	4,03	3,03	2,65	3,41	2,85
	Стандардна грешка	0,203	0,197	0,287	0,271	0,294	0,275	0,312	0,285
	Коефицијент корелације између модела и експерименталних резултата за $\alpha=0,05$	0,941		0,883		0,873		0,837	
Стандардан грешка регресије	1,82		2,11		1,46		1,85		

На основу података из табеле 7.1. може се уочити да експерименталне вредности и вредности добијене применом предложених модела за различите категорије возила имају стандардана одступања која се крећу за различите категорије возила од 2,85 до 5,36. Коефицијенти корелације између резултата добијених моделирањем и експерименталних резултата показују тесну везу (0,837-0,941). Везу између брзине и емитоване буке возила у пролазу у овим случајевима је могуће изразити преко различитих зависности (табела 5.28), а избор одговарајуће

везе је могуће извршити на основу тумачења одговарајућих статистичких показатеља (табела 5.28). На основу овга може се закључити да између резултата добијених избором одговарајућег модела и резултата добијених мерењем постоји одговарајућа корелативност. Овде треба имати у виду да се ради о корелативности између нивоа измерене и израчунате буке, на основу чега се може рећи да усвојени модели за предикцију буке појединачног возила у пролазу даје поуздане резултате.

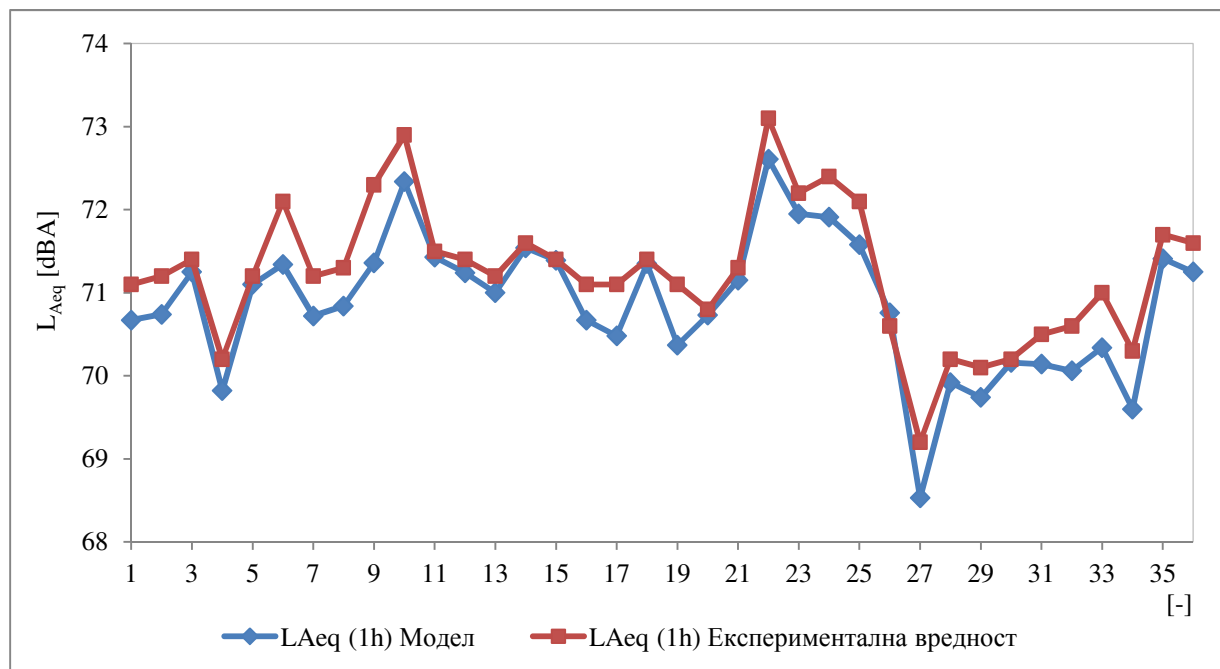
Следећи корак је развој модела за предикцију саобраћајне буке у зони саобраћајнице изазвану од стране саобраћајног тока. То је такође, подразумевало одређена експериментална мерења буке и одговарајућих параметара саобраћајног тока. Статистичком обрадом података експерименталних мерења и резултата добијених из самог модела (табеле 7.2 и 7.4) је извршена валидација и верификација самог модела на бази експерименталних мерења [76, 96]. Резултати упоредне анализе мерених и експерименталних резултата су приказани у табелама 7.3 и 7.5 и сликама 7.2 и 7.3.

Табела 7.2. Статистичка анализа модела за предикцију буке у интервалу времена од 1 h

Мерена група возила	Лака моторна возила		Средња теретна возила		Тешка теретна возила		Средњи и тешки аутобуси	
	смер 1	смер 2	смер 1	смер 2	смер 1	смер 2	смер 1	смер 2
Статистика								
Број узорака	36							
Минимална вредност протока по смеровима [voz/h]	194	138	6	5	5	5	1	1
Максимална вредност протока по смеровима [voz/h]	369	441	26	22	31	25	10	13
Просечна вредност протока по смеровима [voz/h]	294,5	281,5	13	12,75	14,3	13,7	5,2	4,6
Минимална вредност протока у оба смера [voz/h]	367		15		14		5	
Максимална вредност протока у оба смера [voz/h]	735		40		51		20	
Просечна вредност протока у оба смера [voz/h]	576		25,8		28		9,8	
Просечна вредност брзине по смеровима [km/h]	смер 1	62,5						
	смер 2	64,75						
Просечна вредност брзине у оба смера [km/h]	63,63							
Просечна вредност укупног протока [voz/h]	смер 1	326,97						
	смер 2	312,6						
Просечна вредност укупног протока [voz/h]								639,58
Минимална вредност измереног еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 1 h [dBA]								68,82
Максимална вредност измереног еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 1 h [dBA]								72,82
Просечна вредност измереног еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 1 h [dBA]								72,02
Стандардно одступање измереног еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 1 h								0,79
Минимална вредност израчунатог еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 1 h [dBA]								69,2
Максимална вредност израчунатог еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 1 h [dBA]								73,1
Просечна вредност израчунатог еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 1 h [dBA]								71,24
Стандардно одступање измереног еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 1 h								0,811
Стандардно одступање просечних вредности измереног и израчунатог еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 1 h								0,154

Табела 7.3. Упоредна анализа експерименталних резултата мерења буке и резултата добијених применом модела за интервал од 1 h

Статистички параметри		Експерименталне вредности	Вредности из Модела
$L_{Aeq}(1h)$ [dBA]	Број узорака	36	
	Минимална вредност	69,2	68,53
	Максимална вредност	73,1	72,61
	Просечна вредност	71,24	71,02
	Стандардно одступање	0,811	0,790
	Коефицијент детерминације између модела и експерименталних резултата	0,827	
	Коефицијент корелације између модела и експерименталних резултата за $\alpha=0,05$	0,902	
	Стандардна грешка регресије	1,995	
	Израчуната вредност F теста	1,053	
	Таблична вредност $F_{0,05}$ за k_1 и k_2	1,57	
	Израчуната вредност t теста	1,154	
	Таблична вредност за $t_{0,05}$	1,96	

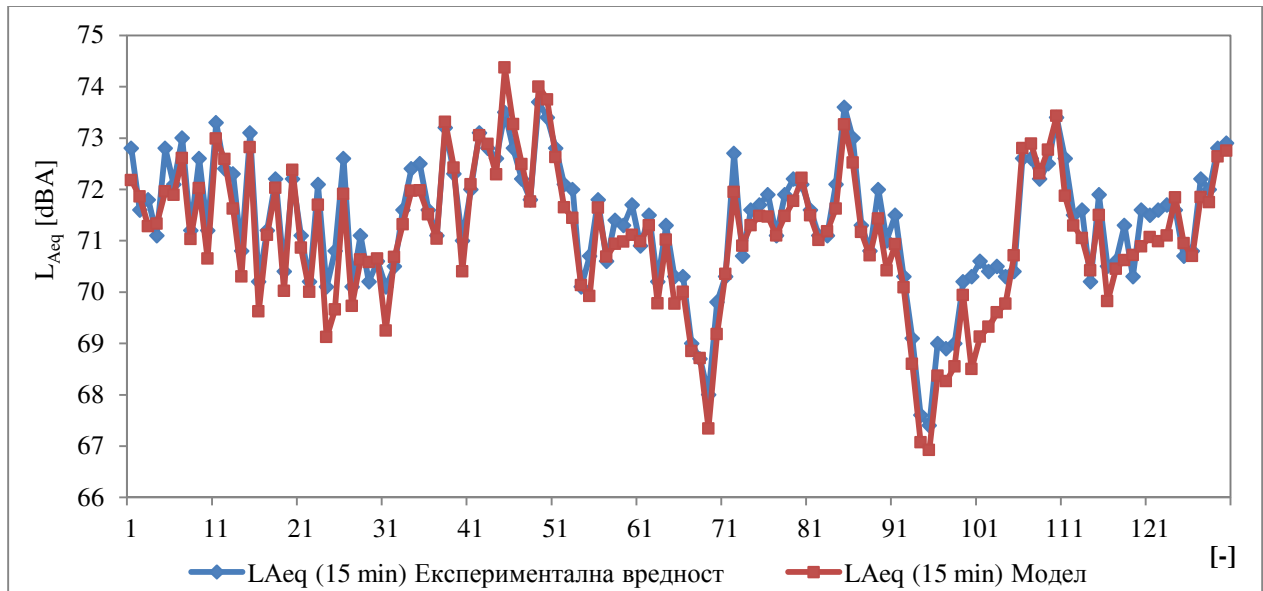

 Слика 7.1. Графички приказ кретања израчунате и измерене вредности $L_{Aeq}(1h)$

Табела 7.4. Статистичка анализа модела за предикцију буке у интервалу времена од 15 min

Мерена група возила	Лака моторна возила		Средња теретна возила		Тешка теретна возила		Средњи и тешки аутобуси	
	смер 1	смер 2	смер 1	смер 2	смер 1	смер 2	смер 1	смер 2
Број узорака	130							
Минимална вредност протока по смеровима [voz/15 min]	12	21	0	0	0	0	0	0
Максимална вредност протока по смеровима [voz/15 min]	145	165	8	9	10	15	8	7
Просечна вредност протока по смеровима [voz/15 min]	66,65	67,84	2,7	2,7	3,7	3,8	1,26	1,15
Стандардно одступање протока по смеровима	13,36	18,2	1,4	3,3	2,1	2,1	0,96	0,92
Минимална вредност протока у оба смера [voz/15 min]	32		0		2		0	
Максимална вредност протока у оба смера [voz/15 min]	228		13		18		9	
Просечна вредност протока у оба смера [voz/15 min]	134,45		5,29		7,5		2,35	
Стандардно одступање протока у оба смера	25,44		2,2		3,3		1,4	
Просечна вредност укупног протока [voz/15 min]	смер 1		74,34					
	смер 2		75,39					
Стандардно одступање укупног протока	смер 1		14,56					
	смер 2		19,54					
Просечна вредност укупног протока у оба смера [voz/15 min]							149,55	
Ст. одступање укупног протока							27,55	
Минимална вредност измереног еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 15 min [dBA]							67,4	
Максимална вредност измереног еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 15 min [dBA]							73,7	
Просечна вредност измереног еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 15 min [dBA]							71,37	
Стандардно одступање измереног еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 15 min							1,24	
Минимална вредност израчунатог еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 15 min [dBA]							67,08	
Максимална вредност израчунатог еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 15 min [dBA]							73,99	
Просечна вредност израчунатог еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 15 min [dBA]							71,2	
Стандардно одступање израчунатог еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 15 min							1,37	
Стандардно одступање просечних вредности израчунатог и измереног еквивалентног нивоа буке L_{Aeq} за 15 min							0,123	

Табела 7.5. Упоредна анализа експерименталних резултата мерења буке и резултата добијених применом модела узорковане у интервалу од 15 min

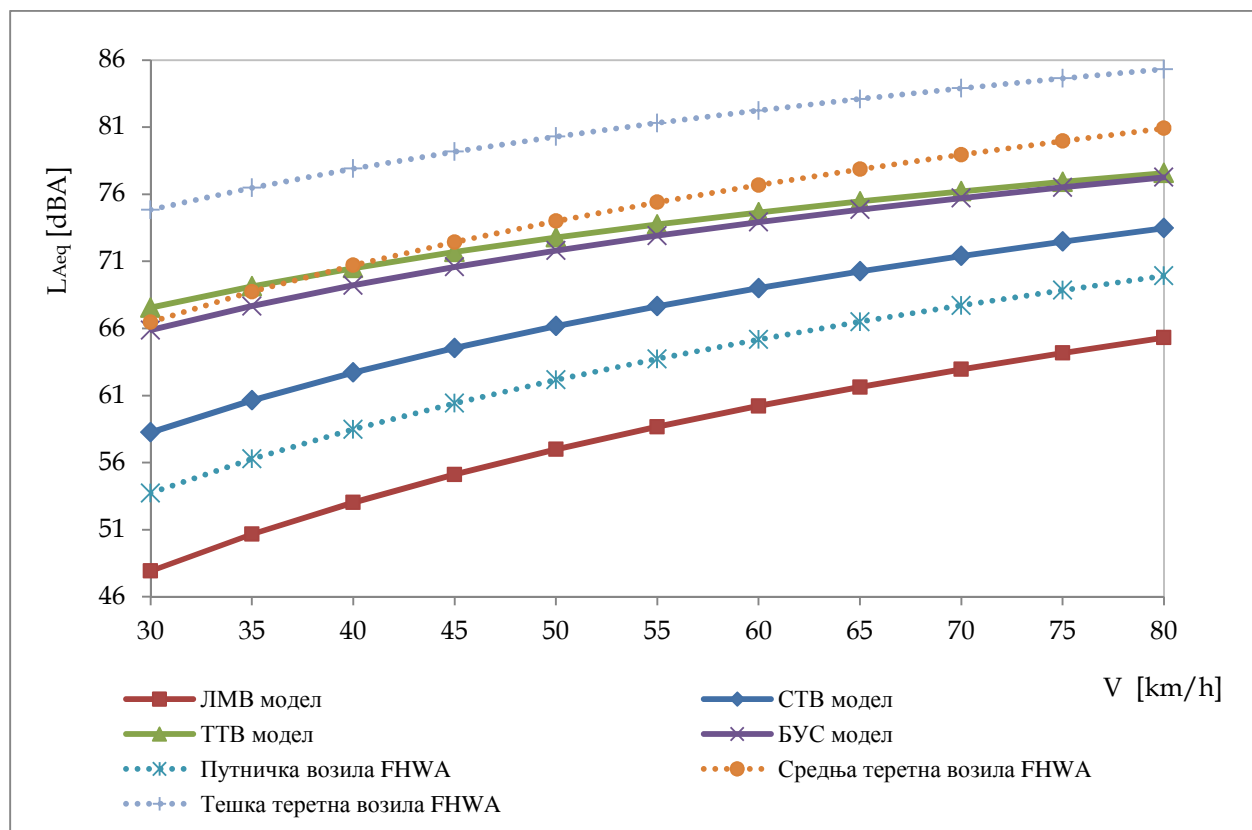
Статистички параметри		Експерименталне вредности	Вредности из модела
$L_{Aeq}(15 \text{ min})$ [dBA]	Број узорака	130	
	Минимална вредност	67,4	66,9
	Максимална вредност	73,7	74,37
	Просечна вредност	71,37	71,09
	Стандардно одступање	1,24	1,38
	Коефицијент детерминације између модела и експерименталних резултата	0,898	
	Коефицијент корелације између модела и експерименталних резултата $\alpha=0,05$	0,948	
	Стандардна грешка регресије	4,487	
	Израчуната вредност F теста	1,20	
	Таблична вредност $F_{0,05}$ за k_1 и k_2	1,21	
	Израчуната вредност t теста	1,072	
	Таблична вредност за $t_{0,05}$	1,96	

Слика 7.2. Израчунате и измерене вредности $L_{Aeq}(15 \text{ min})$

7.1.2. Валидација и верификација резултата модела за предикцију буке на бази упоредне анализе са другим моделима

На основу прегледа различитих модела, описаних у тачки 3, који се користе за предвиђање нивоа саобраћајне буке, у овом делу дисертације је као друга фаза валидације и верификације самог модела дата упоредна анализа предложеног модела са осталим моделима који се данас највише примењују за ову врсту анализе. Превасходно је ово урађено како би се показало управо оно што је дефинисано као полазна хипотеза да усвајање других модела без предходне анализе и калибрисања за наше услове не би дало одговарајуће резултате.

Мали број модела за предикцију саобраћајне буке који се данас користе у свету, као улазне параметре користе емисионе вредности појединих категорија возила [71, 97]. Један од тих модела који се базира на емисионим вредностима појединих категорија возила као улазном параметру у модел за предикцију саобраћајне буке јесте FHWA модел [13]. Обзиром да је први корак развоја модела за предикцију саобраћајне буке био дефинисање емисионих вредности појединих категорија возила, било је неопходно упоредити добијене резултате предложених модела за наше услове и резултате модела који су добијени од стране модела који су предложени у оквиру FHWA модела. На слици 7.3. је дата упоредна анализа предложених модела за наше услове и модела предложених у оквиру FHWA модела.



Слика 7.3. Упоредна анализа модела за утврђених еквивалентних емисионих нивоа буке у зависности о брзине кретања за наше услове и модела предложених у оквиру FHWA модела

Упоређујући добијене вредности из модела за наше услове са вредностима из модела који су препоручени у оквиру FHWA модела [13, 97] може се уочити разлика у погледу нивоа такве буке (табела 7.6). Иако категоризација возила није дефинисана на потпуно идентичан начин сличности у категоризацији ипак постоје што омогућава тумачење добијених резултата. Може се константовати чињеница да код свих категорија возила, модели за наше услове дају ниже вредности буке у тачки емисије него модели дефинисани у оквиру FHWA модела. Ово се пре свега може објаснити различитим конструкционо – експлоатационим карактеристикама самих возила која припадају истој категорији. Међутим разлике у нивоу емитовања буке појединих категорија возила се ипак крећу око одређених просечних вредности на опсегу брзина од 30 km/h до 80 km/h (табела 7.6). Ово на неки начин потврђује да један и други модела имају добро слагање на дефинисаном опсегу брзина, пре свега у погледу тренда осим што FHWA модели дају веће

вредности буке појединачног возила у проласку него модели који су дефинисане за наше услове. Додатни разлог оваквог неслагања лежи и у чињеници да су модели предложени у оквиру FHWA модела дефинисани седамдесетих година прошлог века и да се до сада нису суштински мењали. Очигледно је да су се карактеристике возила у том погледу промениле. Упоредивање коефицијента корелације између ових модела не би имало практичног смисла пре свега јер резултати из једног и другог модела на посматраном опсегу брзина, међусобно нису корелативни обзиром да су резултати модела предложених у оквиру FHWA модела увећани за одговарајуће просечне вредности на читавом анализираном опсегу. Међутим, FHWA моделе могуће је искористити за наше услове уз одређена кориговања, обзиром да се одступања нивоа буке на дефинисаном опсегу брзина крећу око просечних вредности.

Табела 7.6. Просечно одступање вредности буке за поједине категорије возила по моделима предложени у оквиру FHWA модела и модела за наше услове изражено у dBA

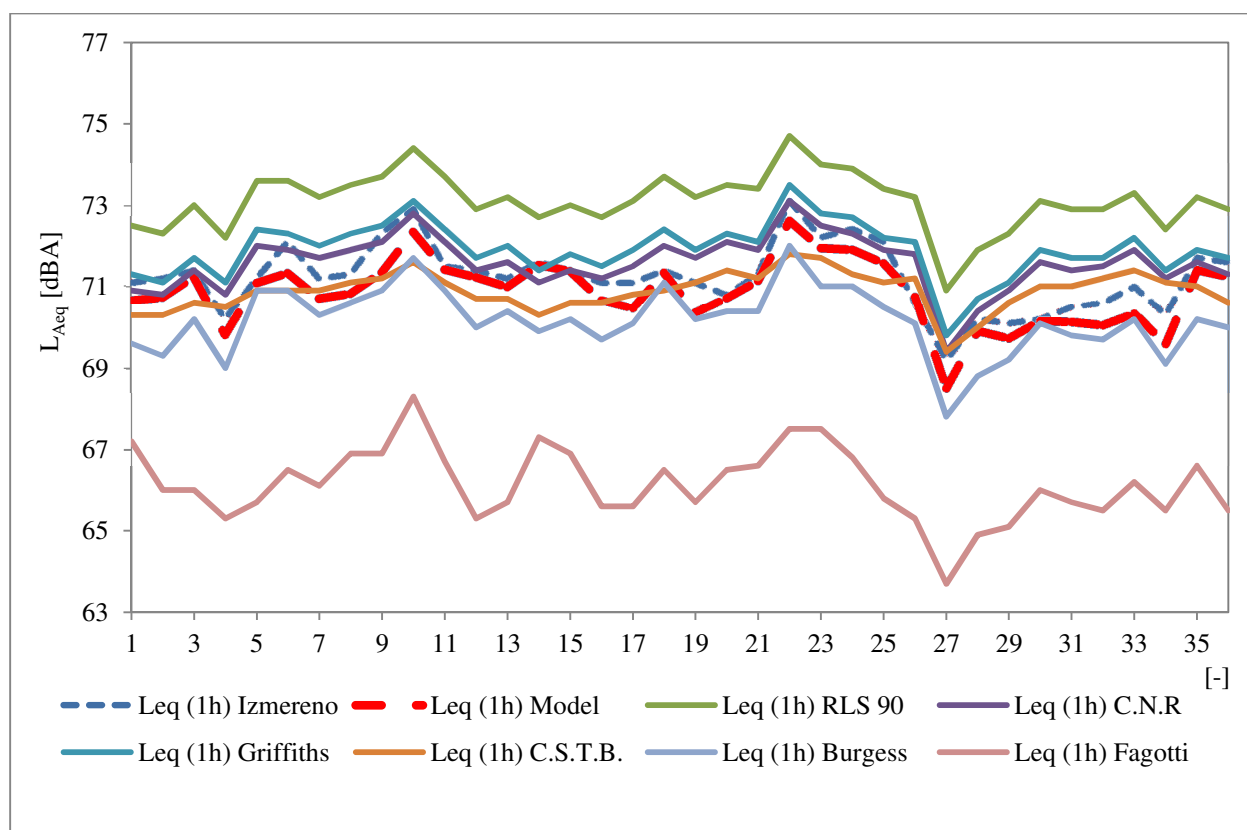
Категорија возила модела FHWA	Категорија возила модела за наше услове	ЛМВ	СТВ	ТТВ	БУС
Аутомобил		5,11			
Средњи камион			7,8		
Тешки камион				7,5	8,4

Други део модела се односи на предикцију саобраћајне буке читавог саобраћајног тока. Поједини модели који се данас примењују имају своје одређене специфичности на које треба обратити пажњу приликом упоредне анализе таквих модела са другим предложеним моделима [3]. На наредним сликама и у табелама су приказани упоредни подаци предложеног модела за наше услове и појединих референтних модела који се данас користе у свету. Референтне моделе могуће је поделити у три групе.

Прву групу модела сачињавају референтни модели који на директан начин прорачунавају ниво еквивалентне буке у тачки пријема за период од 1 h и ту су приказана два модела (Burgess-ов модел и Fagotti-јев модел) [29].

Другу групу модела сачињавају модели који за прорачун еквивалентног нивоа буке у периоду од 1 h користе одређене статистичке индикаторе буке односно њихове процетуалне вредности (Griffiths - ов модел и C.S.T.V. модел) [29].

Трећу групу модела сачињавају модели који су инкорпорирани у оквиру одређених законских решења и користе се као стандардни модели за предикцију саобраћајне буке у појединим земљама (RLS 90 модел и CNR модел) [29]. Наравно за ову анализу је могуће користити и друге моделе али су ово најчешће коришћени модели за упоредну анализу који се данас употребљавају за ову сврху [3, 4].



Слика 7.4. Упоредна анализа модела за предикцију буке на часовном нивоу $L_{Aeq}(1h)$

Посматрајући криве предикције буке различитих модела, и криву измерене вредности буке може се уочити да већина модела даје релативно добро слагање са измереним вредностима. Од овога одступају Fagotti-јев модел и RLS 90 модел. Разлог њиховог одступања лежи пре свега у чињеници да Fagotti-јев модел анализира само часовни проток возила без анализе било ког другог параметра саобраћајног тока. У том смислу он даје значајно мање вредности саобраћајне буке у зони саобраћајнице али довољно добро прати промене буке што потврђује чињеницу да промена протока возила одсликава промену саобраћајне буке. Када је у питању RLS 90 модел, који се користи као званични модел за предикцију буке у Немачкој, он даје веће вредности буке него што је случај код осталих модела. Нешто више о овом моделу је речено у тачки 3 тако да ће се овде само указати на чињеницу да је овај модел намењен преваходно за предикцију буке на растојању од 25 m од средине саобраћајне траке. Укључује велики број корекционих фактора који на одговарајући начин треба да коригују ниво буке на путу преноса од извора до тачке пријема. Овде је дат идеализован модел (без одређивања корекционих фактора), али не треба занемарити и чињеницу да овај модел не структурира саобраћајни ток већ само оцењује утицај тешких камиона у оквиру таквог саобраћајног тока кроз одговарајући корекциони фактор.

Остали модели се налазе веома близу измерених вредности и може се рећи да не одступају сувише од експерименталних вредности. Ради једноставнијег извођења закључака о погодности самих модела урађена је статистичка анализа ових модела и њихова међусобна корелација. Резултати ове анализе су приказани у табели 7.7 [76].

Табела 7.7. Упоредна анализа модела за предикцију саобраћајне буке

$L_{Aeq}(1h)$ [dBA]	Статистички параметри									
	Број узорака	Минимална вредност	Максимална вредност	Просечна вредност	Стандардна грешка	Стандардно одступање	F - тест	$F_{0,05}$ за k_1 и k_2	t - тест	$t_{0,05}$
Експерименталне вредности	36	69,20	73,10	71,24	0,135	0,811	1	1,57	1	1,96
Вредности из предложеног модела		68,53	72,61	70,87	0,136	0,818	1,017	1,57	1,897	1,96
Burgess модел		67,80	72,00	70,17	0,136	0,816	1,012	1,57	5,563	1,96
Fagotti et al. модел		63,70	68,30	66,14	0,148	0,888	1,198	1,57	25,461	1,96
Griffiths and Langdon модел		69,80	73,50	71,91	0,114	0,683	0,709	1,57	3,773	1,96
C.S.T.B. модел		69,40	71,80	70,89	0,079	0,479	3,08	1,57	32,715	1,96
RLS 90 модел		70,90	74,70	73,11	0,118	0,709	1,31	1,57	10,444	1,96
C.N.R модел		69,40	73,10	71,59	0,112	0,675	1,31	1,57	18,8	1,96

На основу анализе која је приказана у табели 7.7 код свих модела наведених у табели 7.7 за период од 1 h, на основу вредности F теста, дисперзије израчунате и измерене вредности буке су приближно једнаке. За степен слободе $k_1=35$ и $k_2=35$ уз вероватноћу ризика од 0,05 код свих модела израчунато F је мање од табличне вредности $F_{0,05}=1,57$ [76]. Закључује се да се дисперзије измерених и израчунатих вредности не разликују битно тј. нема основа за одбацивање хипотезе о једнакости дисперзија код ових модела. Када је у питању t тест код анализираних модела за период од 1 h уочава се да средње вредности измерене и израчунате вредности буке значајно разликују. За број степени слободе $k=n_1+n_2-2$ уз вероватноћу ризика од 0,05 код свих модела израчунато t је веће од табличне вредности $t_{0,05}=1,96$ (табела 7.7) па има разлога да се одбаци хипотеза о једнакости средњих вредности основних скупова. Једино код предложеног модела за период од 1 h видимо да за исти број степени слободе уз вероватноћу ризика од 0,05 израчунато $t=1,897$ је мање од табличне вредности $t_{0,05}=1,96$ па нема разлога да одбацимо хипотезу о једнакости средњих вредности ових модела [76]. Такође, на основу F теста се уочава да предложен модела не показује најмању разлику у дисперзији, али на основу t теста се може рећи да је овај модел прецизнији од других модела. Може се закључити да је предложени модел статистички прихватљив и да даје поузданије резултате у односу на остале анализираних моделе.

Поред ове статистичке анализе урађена је анализа међусобне корелације између свих модела на основу чега је добијена корелациона матрица. За израду ове матрице је коришћена метода Pearson-а са коефицијентом значајности 0,01. Резултати ове анализе су приказани у табели 7.8 [76].

Табела 7.8. Матрица корелације између модела и експерименталних мерења

$L_{Aeq}(1h)$ [dBA]	Експеримент	Модел	Burgess	Fagotti et al.	Griffiths and Langdon	C.S.T.B.	RLS 90	C.N.R
Експеримент	1	0,951	0,860	0,791	0,810	0,591	0,829	0,785
Предложен модел	0,951	1	0,876	0,799	0,814	0,571	0,838	0,792
Burgess	0,860	0,876	1	0,768	0,974	0,787	0,986	0,958
Fagotti	0,791	0,799	0,768	1	0,736	0,594	0,756	0,728
Griffiths	0,810	0,814	0,974	0,736	1	0,896	0,996	0,995
C.S.T.B.	0,591	0,571	0,787	0,594	0,896	1	0,874	0,927
RL S90	0,829	0,838	0,986	0,756	0,996	0,874	1	0,991
C.N.R	0,785	0,792	0,958	0,728	0,995	0,927	0,991	1

Анализирајући резултате из корелационе матрице на узорку од 36 мерења буке, јасно се може уочити да прецизније слагање са експерименталним резултатима управо има развијени модел за предикцију саобраћајне буке у зони саобраћајнице (0,951). Ако упоредимо слагање предложеног модела са другим моделима може се уочити да највећи коефицијент корелације има са Burgess-овим моделом (0,876) а најмањи са C.S.T.V. моделом (0,591), табела 7.8.

Сви наведени модели користе индикаторе буке који третирају енергетску вредност буке односно еквивалентни ниво буке L_{eq} , и поједини модели након израчунавања нивоа еквивалентне вредности буке врше кориговање ове вредности кроз употребу различитих корекционих фактора како би калибрисали сам модел за одређене услове. У суштини се може приметити да је главни ограничавајући фактор свих ових модела тај да се базирају на статистичкој обради прикупљених података, не узимајући у обзир случајну природу саобраћајног тока и његову специфичност у погледу његове структуре. Управо из тог разлога је модел који је овде предложен управо орјентисан на проблематику саобраћајног тока у погледу пре свега његове структуре, (категоризације возила у погледу акустичних особина), и брзине појединих категорија возила у саобраћајном току која је директно повезана са осталим параметрима тока у посматраном периоду. У сваком случају може се рећи да модел који је развијен овој дисертацији у потпуности најбоље одсликава реално стање на терену, јер показује најбоље слагање са експерименталним вредностима у периоду мерења буке, превасходно на основу високог степена корелације која показује тесну везу између измерених и израчунатих вредности. Предложени модел стога у потпуности може бити искоришћен за поуздано прогнозирање буке на основу одговарајућих параметара саобраћајног тока.

8. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА

У овом поглављу биће дискутовани резултати пре свега експерименталног дела мерења, а након чега ће бити коментарисани резултати самог модела. Дискусија резултата биће подељена у два дела:

1. део који се односи на анализу и дискусију експерименталног дела мерења подељеног у три целине:
 - анализа и дискусија параметара саобраћајног тока,
 - анализа и дискусија емисионих вредности буке појединих категорија возила,
 - анализа и дискусија вредности буке саобраћајног тока,
2. део који се односи на анализу и дискусију резултата добијених из самог модела за предикцију буке саобраћајног тока.

8.1. Анализа предложене структуре саобраћајног тока

На основу резултата снимања саобраћаја на делу државног пута првог реда М5, преваходно ради дефинисања меродавне структуре тока која је значајна са аспекта анализе нивоа буке коју таква саобраћајни ток генерише, извршена је анализа и дискусија тако предложене структуре саобраћајног тока и то у две фазе. Прва фаза анализе се односи на период снимања саобраћајног тока у периоду од седам дана, и друга фаза која се односи на анализу предложене структуре саобраћајног тока на ниво емитоване буке у периоду снимања буке саобраћајног тока.

Предложена структура саобраћајног тока показује да у периоду мерења од седам дана категорија ЛМВ заузима највећи удео просечно са око 90 % учешћа у сваком дану, односно нешто преко 88 % у сваком измереном сату у посматраном периоду. Категорија СТВ узима просечно учешће око 3,5 % у сваком дану, односно око 4,3 % у сваком измереном сату. Када је у питању категорија ТТВ она заузима удео просечно са око 4,4 % учешћа у сваком дану, односно нешто преко 4,8 % у сваком измереном сату у посматраном периоду. Код категорије БУС просечно

учешће се креће око 1,6 % у сваком дану, односно око 1,7 % у сваком измереном сату. Упоредном анализом овако предложене структуре тока може се уочити да оваква структура не одступа у великој мери од структуре коју дефинише аутоматски бројач саобраћаја, али је једноставнија за практичну примену у самом моделу за предикцију буке. Обједињавања појединих возила у овако дефинисане групе се смањује осцилација структуре самог тока када се ради са просечним вредностима буке, и могуће је прецизније оценити доприносе појединих категорија возила на укупни еквивалентни ниво буке у зони саобраћајнице за дефинисани временски период.

Приликом мерења еквивалентног нивоа буке у интервалима од 1 h и 15 min, и снимања структуре и параметара саобраћајног тока уочава се такође, да не постоји одступање у структури тока у односу на период снимања од седам дана иако је узорковање вршено у различитим данима. На основу тога могуће је извући одређене закључке:

- процентуална заступљеност ЛМВ осцилира око просечне вредности од 89,5 % до 90 % како по смеровима тако и у оба смера што се слаже са резултатима претходног мерења,
- процентуална заступљеност СТВ осцилира око просечне вредности од 3,5 % до 4,0 % како по смеровима тако и у оба смера што се слаже са резултатима претходног мерења,
- процентуална заступљеност ТТВ осцилира око просечне вредности око 5 % како по смеровима тако и у оба смера што се слаже са резултатима претходног мерења,
- процентуална заступљеност БУС осцилира око просечне вредности од 1,5 % до 1,6 % како по смеровима тако и у оба смера што се слаже са резултатима претходног мерења.

Генерално посматрано структура тока, на основу спроведених мерења, не одступа у великој мери за различито снимање саобраћаја иако се ради о случајно изабраним периодима снимања. То наводи на чињеницу да је могуће уз одговарајућа ограничења дефинисати оквирну структуру очекиваног саобраћајног тока на одређеној саобраћајници. На основу овако добијених података из експерименталног мерења, као и упоредне анализе са структуром возног парка на нивоу регистрованог возног парка читаве земље, може се предложити условно посматрано меродавна структура саобраћајног тока за анализу буке у следећем односу ЛМВ : СТВ : ТТВ : БУС= 90 : 3,5 : 5 : 1,5. Мерења која су такође рађена на територији града Краљева у току 2012 године на М5 која пролази кроз територију града показују сличну структуру тока ЛМВ:СТВ:ТТВ:БУС= 80 : 8 : 8 : 3,1, односно на градској саобраћајници ЛМВ : СТВ : ТТВ : БУС= 90 : 6 : 0 : 4 [98]. Наравно овде увек треба имати на уму чињеницу да се структура тока може променити из разноразних разлога (пример градске саобраћајнице где је примећено одсуство ТТВ због коришћења обилазнице), али ово може бити полазна основа за меродавну структуру приликом анализе нивоа саобраћајне буке.

Значај ове анализе лежи у чињеници да је пре било какве анализе нивоа буке у зони једне саобраћајнице потребно прво сагледати структуру саобраћајног тока која се појављује или која се

може очекивати. Ово има двојаки значај – пре свега јер је анализа структуре тока значајно јефтинија ако постоји одговарајући модел за предикцију буке од експерименталног мерења буке. Такође, је значајно из разлога припреме самог тока мерења буке на основу тако дефинисане структуре. Када је у питању случај да се ради о прогнозираним саобраћајним токовима као полазна основа за структуру тока може се применити управо дефинисана меродавна структура чиме се на основу самог модела може дефинисати очекивана бука у зони такве саобраћајнице. Поред тога оваква анализа је омогућила да се утврди веза између структуре возног парка на нивоу земље и онога што се може очекивати мерењем на терену. Веома детаљна подела структуре саобраћајног тока довела би до великог расипања резултата и до погрешних закључака о доприносу појединих категорија на нивоу буке у неком посматраном временском интервалу [5, 9]. У табели 8.1 је приказана компаративна анализа класификације возила предложена у докторату са класификацијом возила предложеном од стране FHWA модела, IMAGINE пројекта и ECE класификације [99].

Табела 8.1. Компаративна анализа класификације возила предложена у докторату са класификацијом возила предложеном од стране FHWA модела, IMAGINE пројекта и ECE класификације

		Класификација возила			
Предложени модел	ЛМВ – лака моторна возила, < 3,5 t и не више од 3 осовине: - путничка возила, - путничка возила са приколицом, - комби возила, - комби возила са приколицом, - лако теретно возило, - лако теретно возило са приколицом,	СТВ – средња теретна возила, више од 3,5 t а мање од 12 t, 3 и више осовина а мање од 5 осовина: - камион, - камион са приколицом	ТТВ – тешка теретна возила, > 12 t, 5 и више осовина: - тешко теретно возило - тегљач са полу-приколицом	БУС – аутобуси, > 3,5 t са две и више осовина и удвојеним точковима на задњој осовини: - аутобус - зглобни градски аутобус	
IMAGINE	Лака моторна возила: - путничка возила, - доставна возила – комби < 3,5 t - SUVs - MPVs	Средња тешка возила: - средња тешка возила - доставна возила – комби >3,5t - аутобуси са две осовине и удвојеним точковима на задњој осовини	Тешка возила: - тешка возила - аутобуси са три или више осовина	Возила на два точка мопеди и квадови до 50 ccм моторцикли и квадови преко 50ccм	
FHWA TNM	Аутомобили: - две осовине и четири точка - комби путнички и теретни <10 путника и 4,5t, - лаки камиони <4,5 t	Средњи камиони и аутобуси: - теретна возила са две осовине, шест точкова >4,5 t <12 t - возила за превоз путника са > 9 седишта	Тешки камиони: - три или више осовина и > 12 t	Моторцикли	
EU / ECE класификација	M1 и N1	M2, M3 и N2, N3	M2 и N3 са приколицом	Возила на два точка L1, L2, L6 L3, L4, L5, L7	

8.2. Дискусија емисионих вредности буке појединих категорија возила у пролазу

Истраживање емисионих вредности буке појединих група возила, о којима је било речи раније је спроведено превасходно како би се утврдила веза између понашања буке коју емитује појединачно возило у покрету и брзине кретања у реалним условима експлоатације. На тај начин је добијена зависност између брзине кретања и емитоване буке појединачног возила могла бити искоришћена за развој модела за предикцију буке коју генерише непрекинути саобраћајни ток непосредно у зони саобраћајнице.

8.2.1. Величина узорка

Непосредно пре дефинисања емисионих вредности појединих категорија возила неопходно је рећи нешто о самој величини узорка који је истраживан на терену. Величина узорка бира се тако да се постигне што већа прецизност приликом оцењивања, али и да трошкови целокупног истраживања буду што мањи. Са друге стране, када бисмо гледали само на трошкове, узорак би био сувише мали и добијене оцене би биле неупотребљиве. Величина узорка у овом истраживању је варијала пре свега из разлога практичне могућности снимања одређеног возила одређене категорије у реалним условима кретања на терену. Величина узорка који је дефинисан за сваку категорију возила је различита и кретала се од 35 до 130 у зависности од категорије возила која је истраживана. Наиме када се узме у обзир да је процентуално учешће појединих категорија возила у саобраћајном току (овде се пре свега мисли на аутобусе око 1,5 % и тешка теретна возила око 5 %) онда прикупљање података за свако појединачно возило из ове категорије при дефинисаним условима мерења није ни мало једноставан задатак, ако се жели истраживати овај феномен у реалним условима кретања возила. Пре свега је то из разлога што је неопходно обезбедити посебне услове мерења дефинисаног возила у реалним условима кретања а да при том не дође до контаминације од стране других возила, а што је често проблем мерења на терену.

Стратификацијом се може постићи велика прецизност у оценама целе популације. Хетерогене популације је могуће поделити на подпопулације, од којих је свака хомогена унутар себе, на шта асоцира и сам назив „стратум“, који означава поделу на слојеве. Ако је сваки стратум хомоген, разлике у мерењима између јединица су мале, па се прецизне оцене могу добити на основу малог узорка у стратуму. Овако добијене оцене могу такође, бити прецизне и када се уопште на целу популацију [76]. Према препорукама [100] минимални број узорака који су у функцији брзине за сваку од дефинисаних категорија возила су приказани у табели 8.2.

Табела 8.2. Препоручени број узорака у функцији од брзине кретања

Брзина [km/h]	Минимални број узорака
0-10	10
11-20	10
21-30	20
31-40	30
41-50	100
51-60	200
>61	100

Међутим, овакав број узорака није могуће увек прикупити у разумном временском интервалу и на свакој локацији. Пре свега ово произилази, како је раније речено, из саме структуре саобраћајног тока на посматраној локацији, али и из трошковима оваквог једног мерења. Ако би се поштовале овакве препоруке то би практично довело до великог интервала времена прикупљања потребних узорака са великим бројем случајних величина које се могу променити у посматраном временском интервалу што може довести до погрешних закључака. Ипак величина узорка који се мери је често у функцији која зависи од дефинисаног буџета, времена истраживања, као и потреба самог истраживања, тако да велики број узорака води ка већој прецизности и степену статистичке тачности. Ова врста проблематике би можда могла бити предмет неког другог истраживања [83].

Метод за одређивање минималног броја узорака за сваку дефинисану групу возила се може дефинисати и преко одређеног интервала поверења. На основу централне граничне теореме и вероватноће $1-\alpha = 2\Phi(t)$ се може очекивати да ће се средња вредност μ основне популације садржати у неком интервалу поверења. За интервал поверења од 1 dBA и $\alpha=0,05$ може се дефинисати минимални број узорака изразом [13]:

$$n = (1,96 * \sigma)^2, \quad (8.1)$$

где је:

- n – број узорака и
- σ – стандардна грешка.

Анализом израза 8.1 се може уочити да се он може приметни само онда кад је позната дисперзија мерног узорка. Када није позната дисперзија израз 8.1 не може дати информацију о потребном броју узорака са сваку од категорија возила.

Међутим, на основу централне граничне теореме се може усвојити да минимални број узорака буде $n \geq 30$ чиме се омогућава да се аритметичке средине узорака растурају око $\bar{\mu}_x = \mu_x$ у ужем подручју него вредности случајне променљиве. Расподела аритметичких средина великих узорака ($n > 30$) са задовољавајућом тачношћу се може прихватити као нормална расподела са параметрима $N(\mu, \sigma^2)$, без обзира на расподелу коју поседује случајна променљива [76].

8.2.2. Анализа емисионих вредности појединих група возила у пролазу

Ниво емитоване буке зависи од брзине кретања возила, односно може се рећи да је доминантан извор буке на возилу бука котрљања која се јавља при брзинама преко 30 km/h. [9, 29, 101] Како је један од задатака ове дисертације био да се дефинише еквивалентни ниво саобраћајне буке који примарно настаје од непрекинутог и неометаног саобраћајног тока, то је као доња граница брзине саобраћајног тока усвојена вредност брзине од 30 km/h, обзиром да се за вредности брзине испод ове границе не може рећи да се ради о неометаном и непрекидном саобраћајном току [58]. Из тога разлога мерене су вредности еквивалентних вредности буке појединачних категорија возила за брзине блиске брзинама од 30 km/h, док горња граница брзине није била ограничена. Овако добијени подаци су искоришћени за регресиону анализу како би се

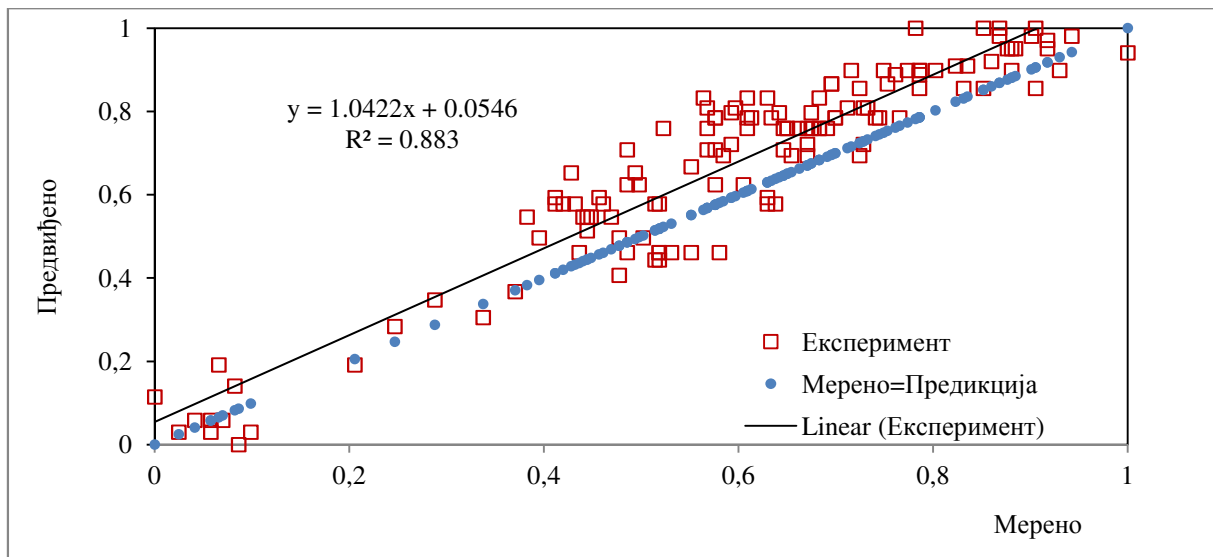
успоставила веза између L_{Aeq} (20 s) и брзине кретања за сваку од дефинисаних група возила (табела 5.28). Регресионе криве у логаритамском облику за сваку од дефинисаних групу возила у функцији брзине кретања возила су усвојене као оптималне регресионе криве које описују ову везу и приказане су на сликама 8.1, 8.3, 8.5 и 8.7 на основу спроведене статистичке анализе.

На слици 8.1 је приказана функционална зависност између брзине кретања возила категорије ЛМВ при различитим вредностима мерене брзине. Укупно је прикупљено 130 узорака кретања возила ове категорије при реалним условима који владају на изабраној саобраћајници. Приликом мерења у обзир су узимана различита возила дефинисане групе, различитих година старости и различите погонске групе тако да се може рећи да је скуп хетероген и да одсликава реалну структуру ове групе возила. Урађена је регресиона анализа за измерене податке како би се одредио адекватан модел између брзине кретања возила у реалним условима и емитоване буке. Анализа је урађена за пет предложених модела чији су резултати приказани у табели 5.29. Коefицијент детерминације код логаритамске зависности показује најбоље слагање са мереним резултатима (0,884), док је нешто мањи коefицијент детерминације (0,868) забележен код линеарне везе. Стандардне грешке регресије не разликују се битно код свих предложених модела (крећу се у распону 1,82-2,8), али се на основу F теста види да су разлике у дисперзијама најмање код логаритамског модела (1,1311), а на основу t теста јасно може закључити да је овај модел прецизнији од других модела (0,0012). Анализирајући остале статистичке параметре (табела 5.28) може се уочити да је логаритамска зависност између брзине возила у реалним условима и ниво емитоване буке оптимална зависност. Регресиони модел за категорију ЛМВ код 86 тачака у односу на укупних 130 генерише разлику између мерене и израчунате вредности мању од стандардне грешке регресије, односно 66 % тачака лежи у појасу $L_{eqA}(20s) - S_y$ и $L_{eqA}(20s) + S_y$ око регресионе криве.



Слика 8.1. Упоредна анализа експерименталних вредности измерене буке $L_{Aeq}(20\text{ s})$ и резултата предложеног модела за ЛМВ у зависности од брзине кретања V

Усвајањем ове врсте зависности као оптималне показује и дијаграм растурања мерених и израчунатих вредности буке за ову категорију возила (слика 8.2).



Слика 8.2. Дијаграм растурања стандардизованих величина измерених и израчунатих вредности емисије буке $L_{Aeq}(20s)$ за појединачно возило категорије ЛМВ у функцији брзине кретања возила V

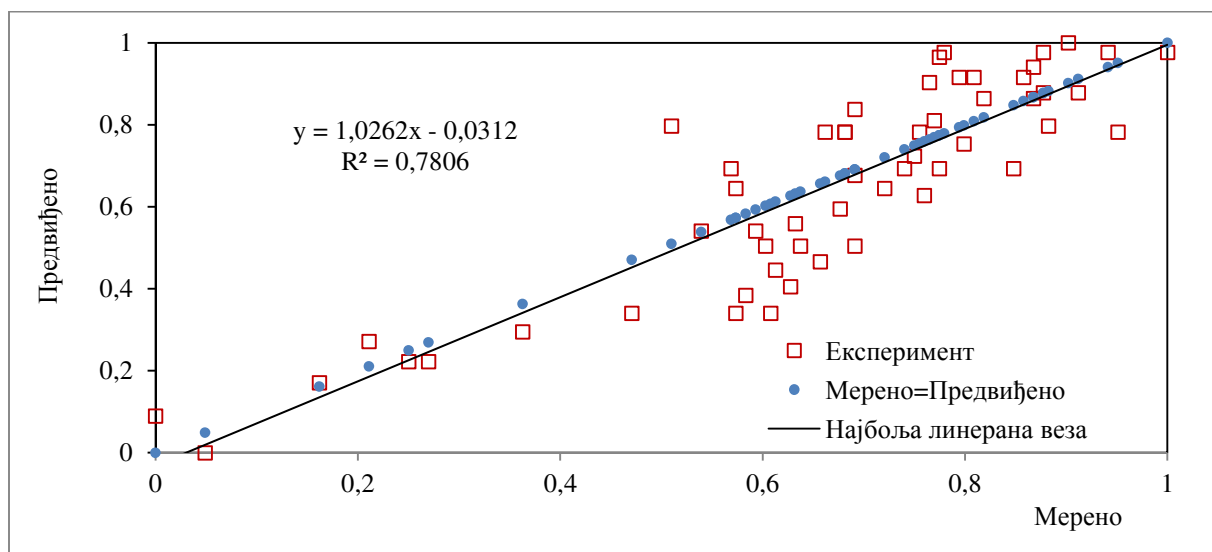
Када су у питању СТВ (слика 8.3) ситуација је нешто другачија него код ЛМВ. Пре свега је број узорка мањи и износи 55 мерених возила. Приликом мерења у обзир су узимана различита возила дефинисане групе, различитих година старости и различите погонске групе тако да се може рећи да је скуп хетероген и да одсликава реалну структуру ове групе возила. Урађена је регресиона анализа за измерене податке како би се одредила регресиона зависност између брзине кретања возила у реалним условима и емитоване буке. Анализа је урађена за пет предложених модела чији су резултати приказани у табели 5.28. Анализом предложених регресионих кривих на основу коефицијета детерминације се може уочити да све криве на прихватљив начин описују наведену зависност. Код логаритамске зависности коефицијент детерминације је највећи (0,781), док је нешто мања вредност овог коефицијента (0,768) забележена код квадратне зависности. Код експоненцијалне везе ова вредност је најнижа (0,674). Усвајање модела само на основу једног анализираног статистичког параметра би довело до погрешних закључака, и не би се добила потпуна слика о адекватности предложеног модела. Анализирајући остале статистичке параметре (табела 5.28) може се уочити да се стандардна грешка регресије разликује код свих предложених модела (креће се у распону 2,1-2,4) при чему је најнижа код логаритамске зависности (2,109). На основу F теста се уочава да квадратна зависност показује најмању разлику у дисперзијама (1,0551), а t тест такође, показује да је квадратна зависност прецизнија од других модела (0,5942). Међутим, посматрајући статистичку анализу код ЛМВ уочава се код појединих модела да су одређене вредности статистичких параметара значајно прецизније са порастом величине узорка. То је посебно изражено код логаритамског модела. Наиме како је величина узорка код категорије возила СТВ релативно мала (36) и налази се скоро на доњој граници величине узорка за који се може рећи да има нормалну расподелу без обзира на расподелу коју поседује случајна променљива, приликом избора модела у обзир су узети сви статистички параметри како би се одабрао адекватан регресиони модел. Логаритамски модел показује најмању вредност резидујумске дисперзије (244,65), најмању вредност стандардне грешке регресије (2,109) и највећи

коэффициент корелације (0,884). Из ових разлога за даљу анализу је усвојена логаритамска зависност између буке коју емитује возило у пролазу и брзине кретања возила узимајући у обзир све анализирани статистичке параметре иако поједини статистички параметри код овог модела показују лошије резултате у односу на друге анализирани моделе. Повећањем броја мерења би се повећала прецизност логаритамског модела у односу на друге моделе (случај код ЛМВ). Регресиони модел кад је у питању категорија СТВ код 36 тачака у односу на укупних 55 генерише разлику између мерене и израчунате вредности мању од стандардне грешке регресије, односно 65 % тачака лежи у појасу $L_{\text{eqA}}(20\text{s}) - S_y$ и $L_{\text{eqA}}(20\text{s}) + S_y$ око регресионе криве. На слици 8.4 је приказан дијаграм растурања измерених и израчунатих вредности за логаритамски модел.



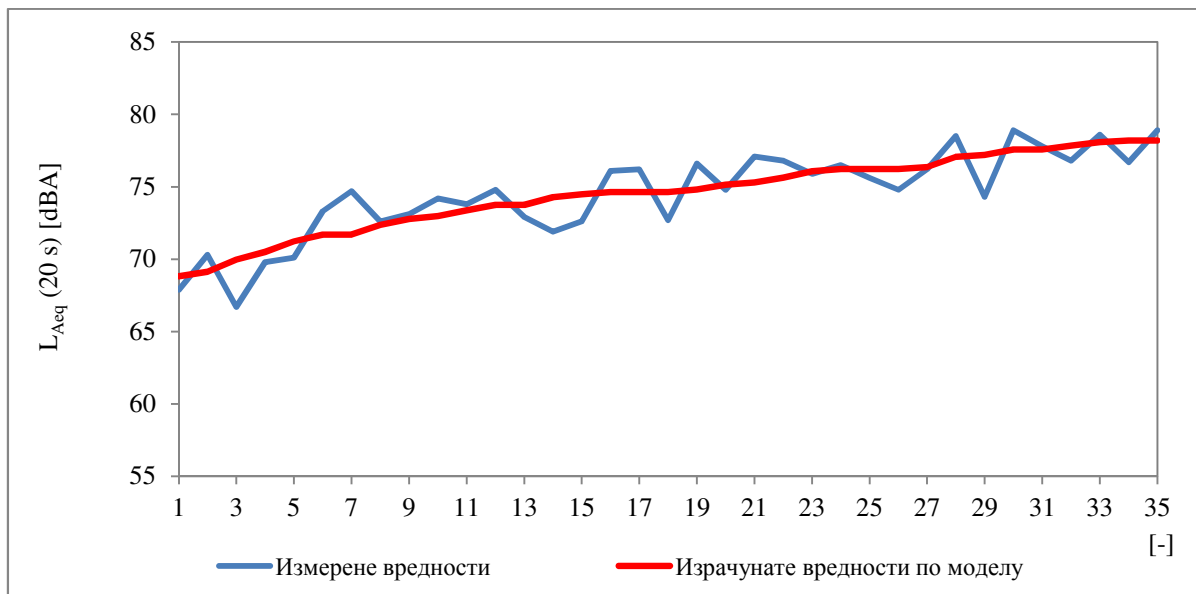
Слика 8.3. Упоредна анализа експерименталних вредности измерене буке $L_{\text{Aeq}}(20\text{ s})$ и резултата предложеног модела за СТВ у зависности од брзине кретања V

Усвајањем ове врсте зависности као оптималне показује и дијаграм растурања мерених и израчунатих вредности буке за ову категорију возила (слика 8.4).



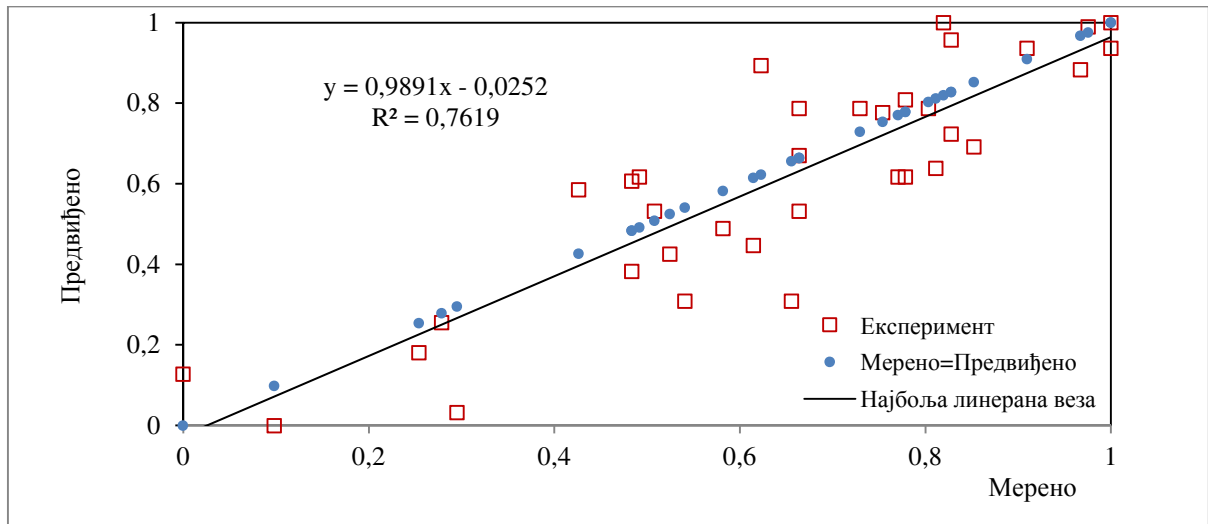
Слика 8.4. Дијаграм растурања стандардизованих величина измерених и израчунатих вредности емисије буке $L_{\text{Aeq}}(20\text{s})$ за појединачно возил категорије СТВ у функцији брзине кретања возила V

Код ТТВ у разматрање је узето 35 мерења. Приликом мерења у обзир су узимана различита возила дефинисане групе, различитих година старости и различите погонске групе тако да се ради о хетерогеном скупу који одсликава реалну ове групе возила. Урађена је регресиона анализа за измерене податке како би се одредио адекватан модел између брзине кретања возила у реалним условима и емитоване буке. Анализа је урађена за пет предложених модела чији су резултати приказани у табели 5.28. Највећи коефицијент детерминације је код логаритамске зависности (0,762), нешто мања вредност коефицијента детерминације (0,731) забележена је код линеарне зависности, док је код квадратне везе ова вредност најнижа (0,271). Анализирајући остале статистичке параметре (табела 5.28) може се уочити да се стандардна грешка регресије разликују код свих предложених модела (креће се у распону 1,45-2,55). Најнижу вредност стандардне грешке има логаритамска зависност (1,456). На основу F теста се уочава да логаритамска зависност показује најмању разлику у дисперзијама (1,3135), али и на основу t теста се може уочити да је овај модел прецизнији од других модела (0,0038). На основу свих статистичких параметара логаритамска зависност између брзине кретања возила и нивоа емитоване буке се усваја као оптимална веза за описивање ове појаве. Код категорије ТТВ од укупно 35 тачака, 24 тачке генеришу разлику између мерене и израчунате вредности мању од стандардне грешке регресије, односно 69 % тачака лежи у појасу $L_{\text{eqA}}(20\text{s}) - S_y$ и $L_{\text{eqA}}(20\text{s}) + S_y$ око регресионе криве (слика 8.5).



Слика 8.5. Упоредна анализа експерименталних вредности измерене буке $L_{\text{Aeq}}(20\text{ s})$ и резултата предложеног модела за ТТВ у зависности од брзине кретања V

Усвајањем ове врсте зависности као оптималне показује и дијаграм растурања мерених и израчунатих вредности буке за ову категорију возила (слика 8.6).



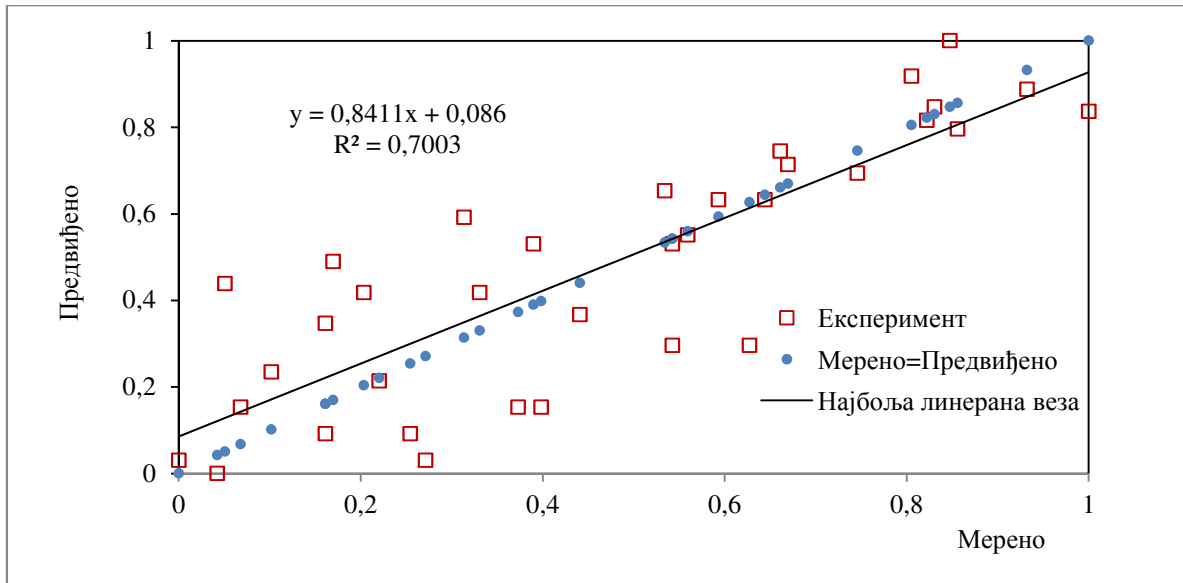
Слика 8.6. Дијаграм растурања стандардизованих величина измерених и израчунатих вредности емисије буке $L_{Aeq}(20s)$ за појединачно возило категорије ТТВ у функцији брзине кретања возила V

Када је у питању група возила БУС број мерења који је овде обављен је такође износио 35. Овде је ситуација далеко најнеповољнија са аспекта растурања резултата око дефинисане регресионе линије. Наиме код ове групе возила је коефицијент детерминације показао да је за апроксимацију најбоље линеарни облик обзиром да је коефицијент детерминације највећи (0,719) у односу на логаритамски (0,698). Међутим анализирајући остале статистичке параметре може се уочити да је стандардна грешка регресије најнижа код линеарне зависности (1,780) али да је на основу t теста логаритамски модел најпрецизнији (0,0019), табела 5.28. Узимајући у обзир све анализирани статистичке параметре, величину обрађеног узорка као и одређена искуства добијена приликом анализе резултата код ЛМВ и СТВ за даљу анализу се као меродаван модел усваја логаритамски модел који описује везу између брзине кретања возила и нивоа емитоване буке. Код категорије БУС-а од укупно 35 тачака, 23 тачке генеришу разлику између мерене и израчунате вредности мању од стандардне грешке регресије, односно 66 % тачака лежи у појасу $L_{eqA}(20s) - S_y$ и $L_{eqA}(20s) + S_y$ око регресионе криве. На слици 8.7 је приказана упоредна анализа измерених и израчунатих вредности по усвојеном моделу.



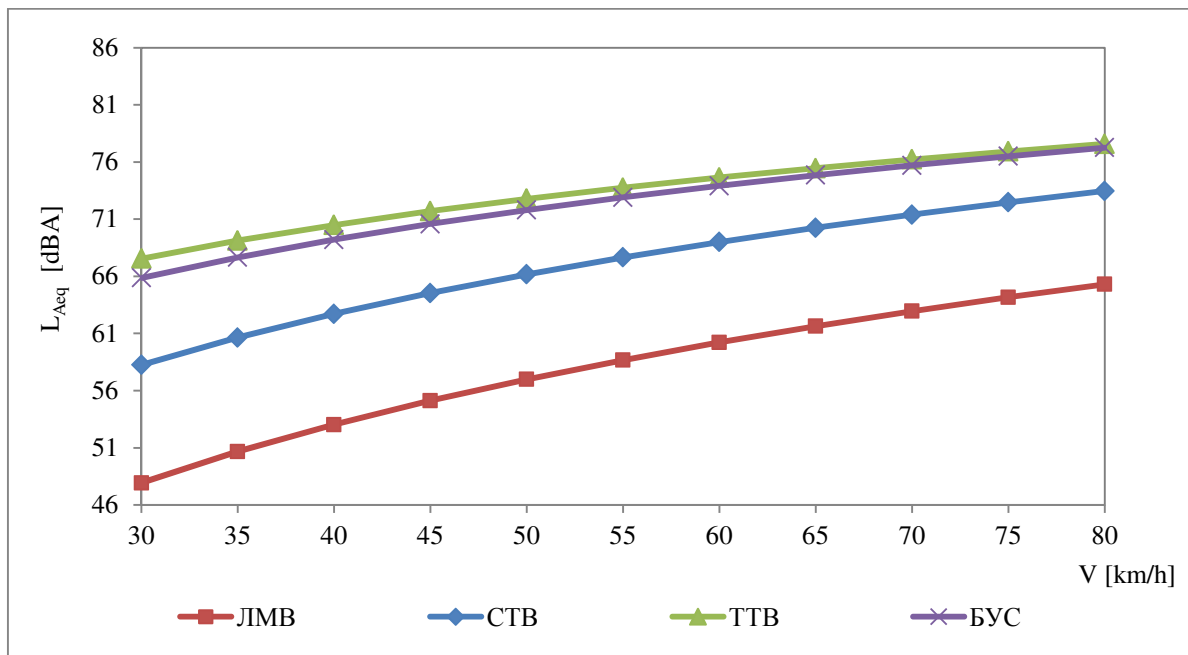
Слика 8.7. Упоредна анализа експерименталних вредности измерене буке $L_{Aeq}(20s)$ и резултата предложеног модела за БУС у зависности од брзине кретања V

Усвајањем ове врсте зависности као оптималне показује и дијаграм растурања мерених и израчунатих вредности буке за ову категорију возила (слика 8.8).



Слика 8.8. Дијаграм растурања стандардизованих величина измерених и израчунатих вредности емисије буке $L_{Aeq}(20s)$ за појединачно возило категорије БУС у функцији брзине кретања возила V

На слици 8.9 су приказане све усвојене регресионе криве за предложену категоризацију возила, одговарајућем опсегу брзина проласка возила.



Слика 8.9. Упоредна анализа регресионих модела за емисионе нивое буке у зависности о брзине кретања за различите категорије возила

Анализирајући добијене регресионе криве за утврђивање еквивалентног емисионог ниво буке за поједине групе возила у функцији брзине возила у пролазу могу се дефинисати одређени закључци:

1. криве које су добијене овом анализом могу поуздано да предвиде еквивалентни ниво буке појединих категорија возила при брзинама у опсегу од 30 km/h до 120 km/h,
2. криве за брзине мање од 30 km/h не би дале тачне резултате пре свега због логаритамске зависности па у овом опсегу веза која би имала логичнији смисао би била линеарна,
3. дате криве описују ниво еквивалентне буке при реалним условима кретања моторног возила на конкретној саобраћајници при одређеној гранулацији асфалта на референтном растојању од 7,5 m од средишње линије правца кретања возила,
4. најнижи ниво буке је код оне категорије возила за коју се претпоставља да је најмањи генератор буке (ЛМВ и СТВ),
5. највећи ниво буке је управо код оних категорија возила за које се претпоставља да су највећи генератори буке (ТТВ и БУС) обзиром да регресионе криве леже изнад осталих предложених кривих (криве за ЛМВ и СТВ),
6. ниво емитоване буке, је кад су у питању категорије возила ТТВ и БУС, приближно исти што је последица пре свега савременијих возила када су у питању ТТВ у односу н БУС али и због положаја самих извора буке на тим возилима.

8.3. Анализа резултата модела за предикцију саобраћајне буке

На основу претходне дискусије и развијеног модела за предикцију буке саобраћајног тока урађена је анализа резултата добијених из модела и експерименталних мерења. На основу корелационе матрице табела 5.35, може се уочити да највећи допринос на добијене експерименталне резултате има процентуална заступљеност комерцијалних возила. Оваква ситуација се и могла очекивати обзиром, на неки начин опште прихваћену тврдњу, да су тешка теретна возила и аутобуси један од главних извора буке у друмском саобраћају [5, 84]. Други по утицају фактор на излазне резултате мерења буке јесте и проток возила што је такође, потврђено у многим радовима [1, 3, 4]. Управо из ових разлога предложен је модел за предикцију буке саобраћајног тока који је као главне параметре разматрао управо структуру саобраћајног тока, односно број таквих возила у саобраћајном току, као и допринос тих возила на укупни ниво буке кроз анализу емисионих вредности буке у функцији брзине.

Упоредна анализа резултата модела за предикцију саобраћајне буке, параметара саобраћајног тока као и измерене вредности буке на мерним локацијама су приказани у табели 8.3. Анализирајући податке добијене на основу дефинисаног модела може се уочити да модел за предикцију буке даје поуздане податке у односу на вредности измерене буке на терену

На основу података из табеле 7.3. и 7.5. може се уочити слагање резултата добијених из модела и резултата добијених експерименталним путем. Коефицијент корелације између експерименталних мерења и резултата добијених из модела на интервалу времена од 1 h износи

0,951, док на интервалу мерења од 15 min, 0,960. Може се рећи да постоји врло тесна веза између обележја једних и других резултата на основу коефицијента корелације за оба временска интервала мерења. Нешто бољи резултати слагања се добијају за мерење од 15 min при чему треба имати на уму да је број узорака који је упоређиван различит и да отуда и ово одступање коефицијената корелације. Модел на интервалу времена од 15 min код 86 мерних тачака у односу на укупних 130 генерише разлику између мерене и израчунате вредности мању од стандардне грешке регресије, односно 66 % тачака лежи у појасу $L_{eqA}(15 \text{ min}) - S_y$ и $L_{eqA}(15 \text{ min}) + S_y$ око криве добијене из модела. Слична ситуација је и за излазне резултате модела за временски интервал од 1 h, обзиром да од 36 мерних тачака, 21 тачка генерише вредности мерене и израчунате вредности мање од стандардне грешке регресије, односно 58 % тачака лежи у појасу $L_{eqA}(1 \text{ h}) - S_y$ и $L_{eqA}(1 \text{ h}) + S_y$ око регресионе криве. На основу свега се може поуздано рећи да примена модела у дефинисаним условима који као улазне параметре користи величине и параметре саобраћајног тока, даје прихватљиве вредности нивоа еквивалентне буке непрекинутог саобраћајног тока у зони саобраћајнице. Боље приближавање резултата око регресионе криве (већи број тачака у појасу $u_r - S_y$ и $u_r + S_y$) могло би се очекивати код већих узорака мерења буке [75].

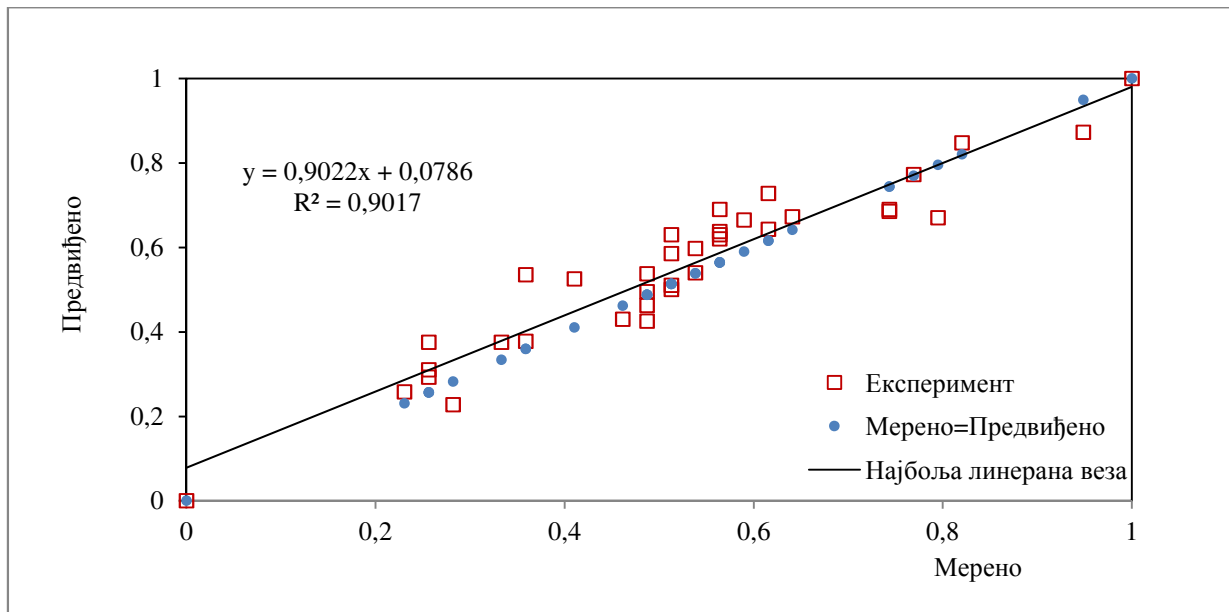
Ако се упореде просечне вредности измерене и израчунате вредности буке за временски интервал од 1 h видимо да је њихово стандардно одступање 0,154 (табела 7.3). Анализом добијених података на основу модела за временски интервал од 15 min може се уочити да је њихово стандардно одступање износи 0,123 (табела 7.5). Видимо да је ово одступање мање него код L_{Aeq} за 1 h што говори да се прецизнији резултати добијају у интервалу од 15 min него за период од 1 h. Ово може бити тумачено двојачко пре свега због већег узорка који је разматрана у петаестоминутном интервалу, али и због тога што овај интервал боље описује стање и кретање саобраћајних параметара у оквиру саобраћајног тока. Временски интервал од 1 h може испољити велике неравномерности када су у питању одређени параметри у саобраћајном току. Што се тиче осталих статистичких параметара стандардна грешка регресије код модела за период од 1 h (1,994) је нижа од стандардне грешке регресије за модел у периоду од 15 min (4,487).

Вредност F теста код модела за период од 1 h показује да су дисперзије израчунате и измерене вредности буке приближно једнаке тј. за степен слободе $k_1=35$ и $k_2=35$ уз вероватноћу ризика од 0,05 израчунато $F=1,053$ је мање од табличне вредности $F_{0,05}=1,57$ (табела 7.3). Закључује се да се дисперзије измерених и израчунатих вредности не разликују битно тј. нема основа за одбацивање хипотезе о једнакости дисперзија основних скупова. Вредност F теста код модела за период од 15 min такође показује да су дисперзије израчунате и измерене вредности буке приближно једнаке. За степен слободе $k_1=129$ и $k_2=129$ уз вероватноћу ризика од 0,05 израчунато $F=1,20$ је мање од табличне вредности $F_{0,05}=1,21$ (табела 7.5). Може се закључити да се дисперзије измерених и израчунатих вредности не разликују битно тј. нема основа за одбацивање хипотезе о једнакости дисперзија основних скупова [76].

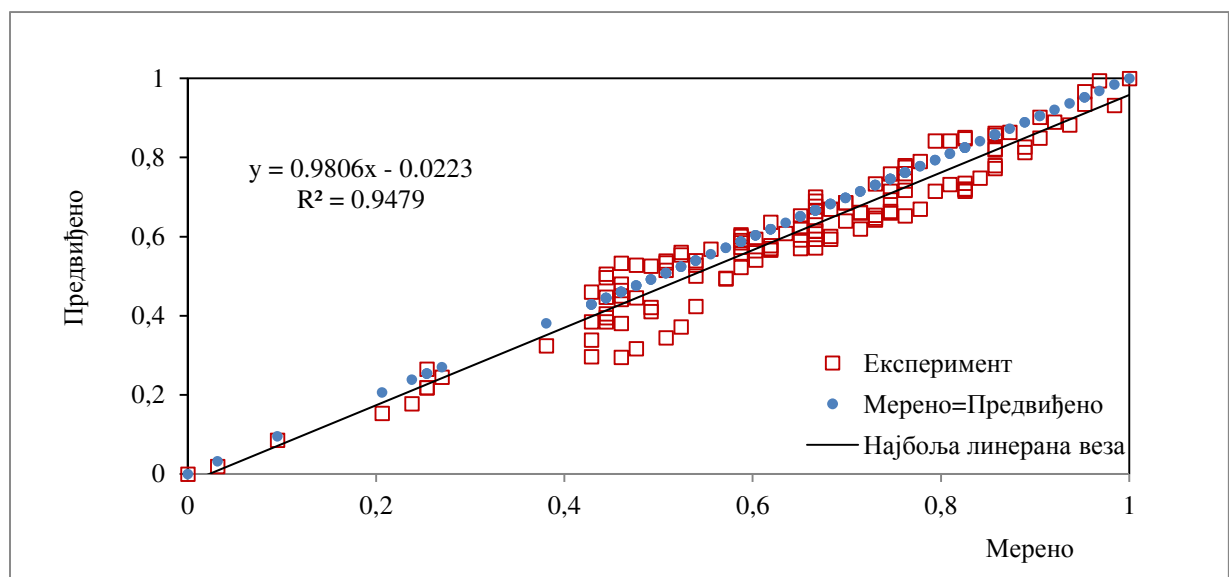
Када је у питању t тест код модела за период од 1 h уочава се да су средње вредности измерене и израчунате вредности буке приближно једнаке. За број степени слободе $k=n_1+n_2-2=$

$36+36-2=70$ уз вероватноћу ризика од 0,05 израчунато $t=1,154$ је мање од табличне вредности $t_{0,05}=1,96$ (табела 7.3) па нема разлога да се одбаци хипотеза о једнакости средњих вредности основних скупова. Код модела за период од 15 min такође се види да су средње вредности измерене и израчунате вредности буке приближно једнаке. За број степени слободe $k=n_1+n_2-2=130+130-2=258$ уз вероватноћу ризика од 0,05 израчунато $t=1,072$ је мање од табличне вредности $t_{0,05} = 1,96$ (табела 7.5) па нема разлога да се одбаци хипотезу о једнакости средњих вредности основних скупова [76].

Дијаграм растурања измереног и израчунатог нивоа еквивалентне вредности буке за период од 1 h је приказано на слици 8.10, док је дијаграм растурања измереног и израчунатог нивоа еквивалентне вредности буке за период од 15 min је приказано на слици 8.11.



Слика 8.10. Дијаграм растурања стандардизованих величина измереног и израчунатог нивоа еквивалентне буке L_{Aeq} за 1 h



Слика 8.11. Дијаграм растурања стандардизованих величина измереног и израчунатог нивоа еквивалентне буке L_{Aeq} за 15 min

Упоредјујући корелационе везе између појединих параметара саобраћајног тока и резултате самог модела (табела 8.3) јасно је да и у оквиру самог модела постоји слична зависност која је уочена код анализе експерименталних резултата (табела 5.35).

Табела 8.3. Корелациона веза између појединих параметра тока и излазних резултата модела

Корелација	Модел L_{Aeq} [dBA]	q [voz/h]	V_{pros} [km/h]	g [voz/km]	% KB
Модел L_{Aeq} (dBA)	1	0,568	0,224	0,475	0,707
q (voz/h)	0,568	1	-0,481	0,988	0,023
V_{pros} (km/h)	0,224	-0,481	1	-0,608	0,264
g (voz/km)	0,475	0,988	-0,608	1	-0,026
% KV	0,707	0,023	0,264	-0,026	1

Корелациона матрица је задржала приближно исти однос утицаја параметара на ниво саобраћајне буке са још строжом корелацијом између буке и процентуалне заступљености комерцијалних возила (0,707 у односу на 0,664), и нешто слабијом корелацијом између буке и укупног протока (0,568 у односу на 0,584). Што се тиче просечне брзине тока модел већу значајност даје овом параметру него што је то случај у мереним вредностима буке (0,224 у односу на 0,153). Може се закључити да је модел осетљив на промене улазних параметара: структуру саобраћајног тока чиме показује већи утицај структуре тока на ниво емитоване буке, али и на укупан број возила у саобраћајном току. Модел исказује већу зависност од структуре саобраћајног тока него од укупног протока и брзине возила у току. То се на неки начин и могло очекивати обзиром да модел анализира структуру тока преко броја возила у свакој појединачној категорији, а не преко процентуалне заступљености појединих категорија возила што је случај код других модела, чиме на одређени начин већ узима у обзир проток возила. Сам модел не коригује укупан проток одређеном процентуалном вредношћу утицаја тешких возила него анализира њихов стваран број. Модел је параметру брзине дао већи значај у односу на мерене вредности пре свега јер просечану временску брзину саобраћајног тока узима као просечну брзину сваке од анализираних категорија возила у саобраћајном току, без посебне анализе брзине сваке од категорије возила што је основни недостатак модела. Модел има могућности да процени допринос брзина различитих категорија возила на укупни ниво емитоване буке као што је то случај код протока возила. Због недостатка овог податка свим категоријама возила додељује вредност исте просечне брзине тока у посматраном временском интервалу, одакле и већа значајност овог параметра у односу на мерене вредности. Уношењем овог податка у модел би се постигло и боље управљање нивоом буке. Управљање бројем возила одређене категорије и њиховим брзинама директно се може утицати на ниво емитоване буке. Такође, значај ове анализе модела лежи и у чињеници да нема доминантног утицаја само једног фактора, већ да је у питању здружено дејство више међусобно спрегнутих фактора чији односи произилазе из основних теоријских исходишта теорије саобраћајног тока.

9. ИЗГЛЕДИ И ПОБУДЕ ЗА ДАЉА ИСТРАЖИВАЊА

Приликом дефинисања полазне основе самог модела за предикцију саобраћајне буке, као један од задатака самог модела поред осталих био је и тај да сам модел укључује оне величине којима је могуће управљати како би се могло на директан или индиректан начин управљати саобраћајном буком. Управо из горе наведених разлога корекциони фактори који коригују прорачунати ниво буке код многих модела не могу увек бити и управљачке величине, односно на њих није могуће директно утицати (нпр. температура ваздуха или коловоза, брзина, правац и смер дувања ветра, утицај рефлектујућих површина и тд.). Овакви феномени могу бити предмет истраживања у случајевима када се жели постићи један од циљаног ефеката модела (нпр. тачност или прецизност модела), односно ближе објашњавање неких карактеристичних случајева које модел може произвести.

Оно што се може уочити готово код свих модела јесте чињеница да положај мерног места буке у односу на саму саобраћајницу има значајан ефекат. Може се закључити да је већина модела врло осетљива на положај мерног места. Утицај растојања мерења буке није потребно посебно кориговати ако се бука мери и утврђује у зони саме саобраћајнице. Ако се бука утврђује на неком растојању значајно различитим у односу на референтно растојање при коме је мерена вредност еквивалентног нивоа буке појединих категорија возила у проласку, то треба узети у разматрање у оквиру самог модела. Обзиром да је модел који је развијен и испитиван, у оквиру ове дисертације, намењен за предикцију буке у зони саме саобраћајнице овај феномен није детаљније истраживан. Ово би могао бити предмет неког другог истраживања и развијања одговарајућег модела распрострања буке примарно изазвану од саобраћаја. Овакав тип истраживања би могао да одговоре на многа практична питања у вези дефинисања грађевинске линије у зони саобраћајница, као и потребну висину и положај звучних баријера. Наравно ова врста истраживања треба пре

свега да тежи ка истраживању оних величина на које је могуће утицати, односно којима је могуће на неки начин управљати. Усмеравање оваквог истраживања у другом правцу може довести само да давања објашњена на она питања која третирају граничне случајеве.

Следећа чињеница коју је потребно истражити у неком наредном истраживању лежи у детаљнијој анализи самог возног парка. Овде се превасходно мисли на старосну структуру возила унутар мереног саобраћајног тока, као и врсту и снагу погонског агрегата. Овакав тип истраживања се све више спроводи у земљама Европске Уније кроз различите пројекте (HARMONOISE и IMAGINE) али и од стране различитих удружења (ACEA – *European Automobile Manufacturers Association*, ...). Ово има за циљ превасходно развој репрезентативног - просечног возила одређене категорије које ће се користити као меродавно возило приликом развоја одговарајућег модела, али и за дефинисање и преиспитивања дозвољених вредности емисије буке појединачног возила одређене категорије. Овакав тип истраживања се до сада није радио код нас. Усвајање референтних вредности дефинисаних у другим земљама може довести до погрешних закључака пре свега због тога што се ова истраживања спровode у фреквентном домену, па би овакв тип истраживања код нас имао велики значај.

Анализом ситуације код нас је такође, примећено да праћење саобраћајне буке у неком дужем временском периоду (пар година и више) није истраживано. Мерења која су рађена у појединим градовима су усмерена на праћење комуналне буке и није их могуће јасно доводити у везу са саобраћајним параметрима и возним парком који се експлоатише на посматраном подручју. Потребно је пратити пре свега ниво емитоване саобраћајне буке појединих категорија возила континуално у дужем временском периоду (пар година) како би се могли заузети одговарајући ставови пре свега у погледу испуњења услова и стандарда које дефинише Европска Унија. Наиме поштравање стандарда у погледу дозвољене емисије буке за поједине категорије возила је могуће очекивати у наредном периоду обзиром да је последње усаглашавање стандарда рађено 1996. године чиме се поставља питање спремности нашег возног парка да испуни овакве стандарде. Може се рећи да је стандард у погледу емисије буке релативно испуњен када је у просеку 90 % возног парка у стању да испуни прописане стандарде. Ова обично траје од десет до петнаест година [101]. Овакво истраживање је неопходно спровести пре свега због праћења тренда смањења или повећања буке појединих категорија возила како би се могло реаговати на одговарајући начин. Стање возног парка које је анализирано код нас [41] у овом тренутку не показује повољан тренд у погледу емисије буке и неопходно га је испратити у наредним годинама. У том смислу се може рећи да је потреба за одговарајућим моделом за предикцију саобраћајне буке нужно неопходно. Међутим да би један такав модел могао да прерасте у национални стандард неопходно га је пратити дужи низ година кроз константну упоредну анализу са измереним вредностима буке, чиме би се постигао двојаки ефекат. На првом месту би се пратило реално стање емисије буке појединих категорија возила и утврдио тренд кретања ове појаве, а са друге стране би се формирала одговарајућа база података која би била искоришћена за калибрацију самог модела, али и за доношење одговарајућих одлука у погледу испуњења и

задовољавања одговарајућих стандарда. У том смислу намеће се идеја формирања одговарајуће базе података у погледу емисије буке како појединачних возила тако и емисије буке саобраћајног тока на карактеристичним локацијама. Оваква база би могла бити искоришћена за различите сврхе. Првенствено у правцу калибрације модела за предикцију буке, израду стратешких карата буке и тд., али и за примену нових поступака у области моделирања као што су вештачке неуронске мреже или генетски алгоритми [102]. Ово управо представља важно подручје истраживања чему је у наредном периоду потребно посветити одговарајућу пажњу.

10. ЗАКЉУЧАК

Бука коју генерише друмски саобраћај је један од највећих еколошких проблема са којим се данас суочава људско друштво. Ово је пре свега због све веће осетљивости становништва на проблеме заштите околине, тако да је решавању овог проблема придодата велика пажња од стране свих учесника у друмском саобраћају. Са друге стране, у интересу друмског саобраћаја је да опслуже нарастајући саобраћај и да при томе не изгубе потенцијалне клијенте применом неких рестриктивних мера за смањење буке.

Данас се веома често експлоатише чињеница која је везана за став да је пораст буке изазване од друмског саобраћаја директно везан за проблем константног пораста броја возила. Анализом возног парка у Србији утврђена је просечна старост возила, тренд кретања броја возила у периоду од 10 година као и динамика занављања флоте возила при чему се дошло до одређених закључака. У наредном временском периоду не могу се очекивати веће промене пре свега у броју и структури возног парка, јер број возила из године у годину осцилира око одређене просечне вредности што није случај код свих категорија возила. Међутим оне категорије које чине већину возног парка бележе управо овакав тренд. Тврдња да пораст буке изазване од друмског саобраћаја прати проблем константног пораста броја возила у нашим условима нема значајно утемељење. Наравно овде треба имати на уму да се ниво буке код нас не прати на нивоу читаве земље у дужим временским периодима (пар година) па је могуће оспорити овакав закључак, али се на основу извештаја који раде службе за заштиту здравља у појединим градовима недвосмислено може видети да се ниво буке из године у годину повећава. Са друге стране, произвођачи возила улажу у нове технологије за смањење буке у оној мери колико је потребно да се испуне прописане границе дозвољеног емитовања буке али и не преко тога, јер то утиче пре свега на трошкове производње. Примена концепта смањивања буке на извору има одговарајуће резултате али само када већи део постојеће флоте возила буде замењен новим возилима, што је оствариво пре свега у дужем временском периоду од пар година до неколико десетина година. Јасно је да се емитовани ниво

буке појединачног возила у каснијим фазама животног века возила може доводити једино у везу са концепцијом одржавања самог возила. То произилази пре свега из разлога јер не постоји потреба надзора буке код возила као што је то случај код емисије издувних гасова, тако да се он углавном своди на субјективни доживљај оног лица који процењује ниво буке за конкретно возило. Обзиром да у сфери одржавања и занављања возног парка није реално очекивати веће помаке, посебно са аспекта емисије буке, као и евентуалне промене технологије техничке контроле возила, потенцијална решења треба тражити у оним правцима која могу направити извесне помаке, а то је управо у сферама управљања и контроле саобраћаја. Једно од потенцијалних решења овог проблема је проналажење одговарајућег модела који је у стању да предвиди на одговарајући и задовољавајући начин ниво еквивалентне буке саобраћајног тока. Избором одговарајућег модела за предикцију саобраћајне буке примарно насталу од друмског саобраћаја моћи ће се контролисати укупна емисија буке од моторних возила кроз одговарајуће управљачке механизме.

Усвајање одређених приступа и критеријума које нуде поједини инострани модели, могу довести до погрешних закључака о нивоу буке обзиром да такви критеријуми и услови примене модела нужно не морају да важе у нашим условима. Такође, начин и поступак прикупљања улазних параметара у модел, односно услови мерења који важе за примену у моделу су веома битни. То пре свега из разлога како би се створили услови за упоредну анализу таквог модела са другим моделима и како би та анализа била на истом нивоу. Самим тим и резултати модела би се тада могли тумачити на одговарајући начин. Из тог разлога у раду је дат методолошки приступ испитивању саобраћајне буке примарно изазвану од друмског саобраћаја. Овај приступ је изабран пре свега из разлога зато што код нас не постоји званичан модел за предикцију и анализу саобраћајне буке а самим тим и јасно дефинисана методологија за утврђивање ове буке у нашим условима. Овај рад управо даје допринос у том правцу.

У циљу развоја одговарајућег модела за предикцију саобраћајне буке у нашим условима било је неопходно поћи од резултата мерења буке и параметара саобраћајног тока на конкретној саобраћајници. Експериментални подаци који су прикупљени на терену а који су се односили на параметре и структуру саобраћајног тока и ниво еквивалентне буке како за појединачна возила тако и за читав посматрани саобраћајни ток, су превасходно коришћени за развој и калибрисање конкретног модела који би био прилагођен нашим условима. Сва мерења су дефинисана у три циклуса. Први циклус мерења је обављен у циљу утврђивања реалне структуре и параметара саобраћајног тока ради дефинисања меродавне структуре и избора одговарајућих параметара тока као улазних величина у сам модел. Други циклус мерења је обављен у циљу утврђивања еквивалентних вредности буке појединачних возила у функцији брзине кретања за сваку дефинисану групу возила за конкретне саобраћајне услове односно утврђивање референтних емисионих нивоа тако дефинисаних група возила за одређене вредности брзине. Трећи циклус мерења је обухватио мерење еквивалентног нивоа буке непосредно у зони саобраћајнице са упоредним мерењем параметара и структуре саобраћајног тока у циљу верификације предложене

структуре тока, и циљу повезивања нивоа еквивалентне буке са одређеним параметрима саобраћајног тока.

Из мерења саобраћајних параметара и нивоа буке, као и њихове анализе видљиво је да приступ појединачног анализирања сваког од њих и оцене њиховог доприноса на укупни ниво буке може често да наведе на погрешне закључке. Разлике у протоку саобраћаја доприносе разлици у нивоима буке, док је утицај промене брзине знатно мање изражен. Комерцијална возила доприносе повећању нивоа буке. Повољнији ефекти на смањење нивоа буке би се могли постићи забраном кретања комерцијалних возила. Међутим треба имати у виду да елиминацијом оваквих возила из саобраћајног тока може имати негативне последице. Приметно је да кад је овај проценат возила у саобраћајном току у порасту, ниво еквивалентне буке прати ове вредности али када је овај проценат највећи не бележи се највећа вредност еквивалентног нивоа буке. Често прихватана мера снижавања буке кроз елиминацију комерцијалних возила из саобраћајног тока зна бити погрешна, пре свега по развој саобраћајне привреде, нарочито када за кретања ових возила не постоје алтернативни правци. Полазећи од одређене брзине тока за већ познату вредност протока (када је у питању непрекинут саобраћајни ток) услед пораста брзине да би се одржао приближно исти проток доћи ће до пада густине саобраћајног тока. Ако је на пример пад вредности густине око 30 % уз просечно учешће комерцијалних возила око 10 %, ово би за последицу директно требало да има пад вредности буке за око 30 %. Међутим, то неће бити случај обзиром да при већим брзинама густина тока пада, јер возачи држе већа растојања слеђења при чему саобраћајни ток почиње више да се понаша као тачкасти извор буке. У случају пораста густине саобраћајног тока за одређену проценту вредност при истом саставу тока долази до пада брзине тока јер возачи почињу да држе мања растојања слеђења при чему саобраћајни ток почиње да се понаша као линијски извор буке. Возила се крећу у нижим степенима преноса услед чега често ангажују већи број обртаја коленастог вратила чиме се повећава утицај буке мотора и система за издувавање. Неопходно је дакле, пронаћи пре свега повољне саобраћајне услове који би се позитивно одразили на ниво буке.

На основу свега изнетог значајнија побољшања у погледу смањења буке дуж одређене саобраћајнице би захтевало тоталну забрану саобраћаја или ригорозно ограничење брзине. Међутим на основу до сада изнетих закључака ригорозно ограничење брзине би довело до отежаног одвијања саобраћаја, односно до пораста густине које би довело до загушења саобраћаја што би за последицу имало значајно повећање трошкова на мрежи. У том смислу ограничавања брзине испод вредности за које се постиже засићени ток не би имало економског оправдања. Са друге стране драстично смањивање протока такође, не би имало оправдање из разлога јер би се са смањивањем обима саобраћаја повећала брзина кретања возила што би утицало на пораст нивоа буке. Ниво емитоване буке саобраћајног тока не достиже максималну вредност при максималном обиму саобраћаја. Очигледно је да се овом проблему мора прићи веома озбиљно и свеобухватно посматрајући целовит саобраћајни систем а не само издвојене случајеве. Предузимање

одговарајућих мера често нема оправдања са становишта неког другог критеријума пре свега економских а посебно саобраћајних.

Анализа структуре возног парка је пре свега кључна за доношење одговарајућих стратегија у борби против прекомерног емитовања буке од стране возила. Први корак развоја модела је подразумевао дефинисање меродавне структуре самог саобраћајног тока која ће бити основа за улаз у модел. Предложена је структура тока која је обухватила четири категорије возила као улаз у сам модел: лака моторна возила (ЛМВ), средња теретна возила (СТВ), тешка теретна возила (ТТВ) и средњи и тешки аутобуси (БУС). Предложена структура тока је резултат директног мерења на терену и анализе стања читавог возног парка. Оваква структура тока се на одређени начин приближава структури која је дата у оквиру IMAGINE пројекта који је урађен на захтев ЕУ, али је са друге стране укључила особености које су карактеристичне за возни парк у Србији. Оваквом предложеном структуром се реалније одсликава стварно стање на мрежи него што би то био случај да се усвојила структура која је предложена у оквиру IMAGINE пројекта. На овај начин су избегнуте потенцијалне грешке које су се могле појавити код анализе буке реалног саобраћајног тока због погрешно усвојене категоризације возила.

На основу овако дефинисане структуре саобраћајног тока пошло се од чињенице да свака од овако дефинисаних група возила има различити утицај на укупни ниво буке који зависи пре свега од брзине кретања ове групе возила али и од самих техничких карактеристика возила сваке појединачне групе. У том смислу су развијени појединачни емисиони модели за сваку од предложених група возила у функцији брзине кретања возила у реалним условима на тачној удаљености од правца кретања возила. Овакав приступ код нас се до сада није примењивао, чиме се отворила могућност упоредне анализе емисије буке појединачног возила при проласку у реалним условима кретања код нас са другим референтним моделима овог типа који се примењују у свету. Резултати овакве анализе су показали да предложени емисиони модели за поједине групе возила дају поузданије резултате него нпр. FHWA модел јер дају ниже вредности емитоване буке што је управо последица адекватне категоризације возила која одговара нашим условима. Овако дефинисани емисиони модели за сваку од предложених група возила су усвојени као референтни емисиони модели и искоришћени као полазна основа за развој коначног модела који је у стању да предвиди ниво буке реалног саобраћајног тока.

Референтни емисиони модели за сваку предложену групу возила су затим кориговани утицајем броја возила сваке од категорије у посматраном саобраћајном току при просечној брзини саобраћајног тока у посматраном временском интервалу. На тај начин се постигло да модел генерише у себе параметре саобраћајног тока изражене пре свега кроз брзину тока и проток појединих категорија возила. То је отворило могућност анализе доприноса сваке од дефинисаних категорија возила на укупни ниво буке при тачно дефинисаним вредностима параметара саобраћајног тока. Обзиром да саобраћајни ток може испољити одговарајућу неравномерност по смеровима кретања у зависности од броја саобраћајних трака, то је утицај ове карактеристике тока на ниво емитоване буке такође унет у модел кроз утицај фактора неравномерности тока по

смеровима. На овај начин се постигло оцењивање доприноса сваке појединачне траке на укупан ниво буке што је веома ретко примењивано код других познатих модела. Обједињавањем овако одређених нивоа еквивалентне вредности буке за сваку траку посебно, могуће је добити укупан ниво буке који емитује посматрани саобраћајни ток при конкретним условима кретања и конкретним параметрима тока на посматраној саобраћајници, Обзиром да ниво буке у тачки емисије зависи од растојања од места емисије то је и утицај ове карактеристике унесен у модел. То је отворило могућност анализе урбанистичких и грађевинских услова у зонама саобраћајница са аспекта нивоа прихватљиве буке у грађевинским и другим објектима. Узимајући у обзир све наведене услове дефинисан је модел који на одговарајућој удаљености од тачке емисије за посматрану саобраћајну траку у дефинисаном временском интервалу одређеног саобраћајног тока, састављеног од одређених категорија возила, који се креће одговарајућом брзином, може сасвим поуздано да предвиди ниво еквивалентне буке.

Валидност модела је потврђена статистичком анализом одступања измереног и израчунатог еквивалентног нивоа буке за различите параметре и структуру тока, као и корелационом анализом измерених и израчунатих нивоа буке. Ова анализа је урађена на основу истих података који су искоришћени за развој модела. Закључак је да предложени модел даје поуздане резултате јер дефинише висок ниво корелативности са експерименталним вредностима.

Верификација предложеног модела урађена је кроз упоредну анализу резултата предложеног модела и резултата добијених применом неких од најчешће коришћених модела који се данас примењују у свету. За ову анализу су коришћени исти подаци о параметрима и структури саобраћајног тока који су коришћени за развој самог модела. На основу добијених података анализом статистичких параметара измереног нивоа буке и израчунатог нивоа буке предложеног модела може се закључити да предложени модел генерише најмању грешку у односу на остале анализиране моделе. У том смислу издваја се као један од оптималних модела за предикцију буке у нашим условима.

Предложени модел захтева релативно једноставне улазне податке који су једноставно мерљиви на терену. Захтева пре свега мерење параметара саобраћајног тока и његову структуру који се иначе прате на мрежи друмских саобраћајница. На тај начин се показало могућим, да се мерењем и праћењем параметара саобраћајног тока може на поуздан начин утврдити ниво саобраћајне буке. То омогућава доношење одговарајућих решења у циљу смањења саобраћајне буке пре свега кроз утицај на одговарајуће параметре саобраћајног тока и измене режима саобраћаја. Модел захтева и користи само оне величине на које је могуће деловати у реалном времену што није случај код одређених модела који користе велики број корекционих фактора на које није могуће утицати. На основу израчунатог нивоа буке помоћу развијеног модела могуће је процењивати ниво буке како у постојећим тако и у новопроектованим решењима саобраћајница, изградњи обилазница или измени режима саобраћаја на већ постојећој мрежи. На овај начин се стичу услови који омогућавају да се променом одговарајућих параметара саобраћајног тока

директно може утицати на ниво емитоване буке таквог саобраћајног тока што и јесте био циљ саме дисертације.

Основни недостаци развоја оваквог модела јесу пре свега релативно кратко време узорковања буке и параметара саобраћајног тока, као и оптерећеност мерења локалним условима. Да би се један овакав модел могао прихватити као општи модел неопходно га је калибрисати на различитим локалитетима у дужем временском периоду. Ови недостаци прате не само предложени модел него и све моделе који су до данас развијени. Покушаји да се направи јединствени модел који је прихваћен у целом свету или бар његовим појединим деловима за сада нису нашли утемељење. Постоје покушаји у овом правцу али се за сада може извући закључак да модели за предикцију буке морају бити националног карактера јер одсликавају управо ону најбитнију карактеристику саобраћајног тока а то је његова структура. Разлика између структуре тока поред различитих возила може и огледа се у разлици возача који управљају тим возилима у саобраћајном току чак и ако се хипотетички створе идеални услови. Из тог разлога проблем буке који данас генерише друмски саобраћај, како је већ речено, је управо један од највећих проблема са којим се данас суочава људско друштво. Феномен буке ће вероватно, за сада, остати један од основних експлоатационих, планерских и пројектантских проблема у будућности.

11. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ambreen I.: *Impact of traffic noise pollution on the environment, Case study: Lahore, Pakistan*, Dissertation, The Univeristy of Hong Kong, Hong Kong, June 2004.
- [2] Бајин Д.: *Градска улица и саобраћај – Прилог дефинисању критеријума и мера заштите животне средине*, Докторска дисертација, Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, Београд, 1995.
- [3] Quartieri J., Mastorakis N.E., Iannone G., Guarnaccia C., Troisi A.: *A review of traffic noise predictive models*, Proceedings of the 5th WSEAS International conference of "Applied and theoretical mechanics" (MECHANICS 09), Puerto de la Cruz, Tenerife, Canary Island, Spain, 14-16 December 2009, pp. 72-80, ISSN:1790-2769/ISBN:978-960-474-140-3.
- [4] Quartieri J., Iannone G., Guarnaccia C.: *On the improvement of statistical traffic noise prediction tools*. Proceedings of the 11th WSEAS International conference on acoustics & Music; "Theory and Application", Iasi, Romania, pp. 201-207, 13-15 June, 2010, ISSN: 1790-5095/ISBN:978-960-474-192-2.
- [5] Filho J. M. A., Lenzi A., Zannin P. H.T.: *Effect of traffic composition on road noise:a case study*, Transport Research Part D: Transport and Environment, Volume 9, Issue 1, pp. 75-80, January 2004.
- [6] Hamet J. F., Besnard F., Doisy S., Lelong J., Duc E.: *New vehicle noise emission for French traffic noise prediction*, Applied Acoustic, Volume 71, Issue 9, pp. 861-869, September 2010.
- [7] Беара Г.: *Утицај саобраћаја на стање еколошких прилика у централној зони Београда*, Магистарски рад, Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, Београд, 1980.
- [8] Babić S., Demić M., Pešić R., Milosavljević B.: *A contribution to methodological approach of traffic safety analysis of a certain area*, Metalurgia Internationale, Volume 17, No.7, pp. 232-239, 2012, ISSN 1582-2214.
- [9] Steven H.: *Investigation on noise emission of motor vehicles in road traffic*, Research project 200 54 135 - Final Report, Institute for Vehicle Technology, February 2010.
- [10] Pardo L. F., Steven H.: *Monitoring procedure in the vehicle noise regulation - Final report ECE R51 monitoring database and cost/benefit analyses*, Research project UTAC_10/06370 - Final Report, ACEA, 27 August 2010
- [11] Daniel N.: *A method of developing regional road traffic noise management strategies*, Applied Acoustics, Volume 71, Issue 7, pp.640-652, July 2010.
- [12] Farcas F.: *Road traffic noise - A study of Skane region, Sweden*, Student thesis, Linkoping University, Department of computer and information science, June 2008, ISRN:LIU-IDA/FFK-UP-A-08/015-SE.

- [13] Barry T.M., Reagan J.A.: *FHWA Highway traffic noise prediction model-Report FHWA-RD-77-108*, FHWA US Department of Transport, 1978.
- [14] Сл. гласник РС, бр.54/92: *Правилник о дозвољеном нивоу буке у животној средини*, 1992.
- [15] Бијеловић С.: *Чиниоци животне средине као показатељ утицаја на здравље људи*, Докторска дисертација, Универзитет у Новом Саду Медицински факултет у Новом Саду, Нови Сад, 2010.
- [16] Tanvir S., Rahman M.M.: *Development of interrupted flow traffic noise prediction model for Dhaka City*, Proceedings of the 4th Annual Paper Meet and 1st Civil Engineering Congress, 22-24 December 2011, Dhaka, Bangladesh, ISBN:978-984-33-4363-5.
- [17] Rahmani S., Mousavi S.M., Kamali M.J.: *Modeling of road-traffic noise with the use of genetic algorithm*, Applied Soft Computing, Volume 11, Issue 1, pp. 1008-1013, January 2011.
- [18] Suksaard T., Sukasem P., Tabucanon S. M., Aoi I., Shirai K., Tanaka H.: *Road traffic noise prediction model in Thailand*, Applied Acoustics, Volume 58, Issue 2, pp.123-130, October 1998.
- [19] Arnaud C., Ludovic L., Joel L.: *Dynamic estimation of urban traffic noise: influence of traffic noise source representations*, Applied Acoustics, Volume 69, Issue 10, pp. 858-867, October 2008.
- [20] Dae Seung C., Sungho M.: *Development of a highway traffic noise prediction model that considers various road surface types*, Applied Acoustics, Volume 69, Issue 11, pp.1120-1128, November 2008.
- [21] Federico R., Umberto Di M., Sofia S.: *An original method for urban traffic noise prediction*, Proceedings of the Euronoise, Tampere, Finland, 30 May – 1 June, 2006.
- [22] Tansatcha M., Pamanikabud P., Brown A.L., Affum J.K.: *Motorway noise modellig based on perpendicular propagation analysis of traffic noise*, Applied Acoustics, Volume 66, Issue 10, pp.1135-1150, October 2005.
- [23] Прашчевић М., Цветковић Д.: *Бука у животној средини*, Факултет заштите на раду у Нишу, Ниш, 2005.
- [24] Pamanikabud P., Tansatcha M., Brown A.L.: *Development of a highway noise prediction model using an Leq20s measure of basic vehicular noise*, Journal of Sound and Vibration, Volume 316, pp. 317-330, 2008.
- [25] Frederico R., Andriano F., Giangiulio P. R. C., Pedro H. S. de O.: *Development of urban traffic noise model:a case study in Brazil*, Proceedings of the 17th Internacional congres on sound &vibration, Cairo, Volume 4, pp. 2388-2396, 18 - 22 July 2010.
- [26] Ramis J., Alba J., Garcia D., Hernandez F.: *Noise effects of reducing traffic flow through a Spanish city*, Applied Acoustics, Volume 64, Issue 3, pp. 343-364, March 2002.
- [27] Pichai P., Prakob V.: *Noise prediction for highways in Thailand*, Transportation Research Part D:Transport and Environment, Volume 7, Issue 6, pp. 441-449, November 2002.
- [28] Cvetković D., Prašević M., Stojanović V.: *NAISS – Model for traffic noise prediction*, The scientific journal Facta Universitatis, Series:"Working and living environmental protection", Volume 1, Issue 2, pp.73-81, 1997.
- [29] Campbell S.: *A critical review of some traffic noise prediction models*, Applied Acoustics, Volume 62, Issue 3 pp. 271-278, March 2001.
- [30] Calixto A., Diniz F. B., Zannin P. H. T.: *The statistical modeling of road traffic noise in urban setting*, Cities, Volume 20, Issue 1, pp. 23-29, February 2003.
- [31] Makariewicz R., Galuszi M.: *Road traffic noise prediction based on speed-flow diagram*, Applied Acoustics, Volume 72, Issue 4, pp. 190-195, March 2011.
- [32] Naish D.: *A method of developing regional road traffic noise management strategies*, Applied Acoustics, Volume 71, Issue 7, pp. 640-652, July 2010.

- [33] Bayaras J., Jotautiene E., Merkevičius S.: *Analysis of noise dependence on traffic flow*, Environmental Research, Engineering and Management, Volume 40, Issue 2 pp.52-58, 2007, ISSN:1392-1649.
- [34] Can A., Leclercq L., Lelay J., Defrance J.: *Capturing urban traffic noise dynamics through relevant descriptors*, Applied Acoustics, Volume 69, Issue10, pp.1270-1280, December 2008.
- [35] Rodriguez-Morales A., Sobreira-Seoane M.A., Martin-Herrero J.: *Noise variability to traffic spatial distribution*, Applied Acoustics, Volume 72, Issue 5, pp. 278-286, April 2011.
- [36] Guarnaccia C.: *Advanced tool for traffic noise modelling and prediction*, Wseas Transactions on Systems, Volume 12, Issue 2, pp.121-130, February 2013, ISSN:2224-2678.
- [37] Кузовић Љ.: *Теорија саобраћајног тока*, Грађевинска књига, Београд 1987, ISBN 86-395-0090-8.
- [38] Iannone G., Guarnaccia C., Quartieri J.: *Noise fundamental diagram deduced by traffic dynamics*, Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Engineering Mechanics, Structures, Engineering Geology (EMESEG '11), Corfu Island, Greece, July 14-16, 2011, pp. 501-507, ISBN: 978-1-61804-022-0.
- [39] UK Department of Transport: *Calculation of road traffic noise*, HMSO, London, 1988, ISBN 0 11 550847 3.
- [40] Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau: *Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen - RLS 90*, Bonn, 1990
- [41] Babić S., Pešić R., Lukić J., Milosavljević B.: *Noise emission with aspect of vehicles fleet structure – the case of Serbia*, International Congress Motor Vehicles & Motors, Kragujevac, Octobar 2012, ISBN: 978-86-86663-57-3.
- [42] Guarnaccia C.: *New perspectives in road traffic noise prediction*, Latest Advances in Acoustics and Music, Proceedings of the 13th WSEAS International Conference on Acoustics & Music: Theory & Applications (AMTA '12), pp. 255-260, ISBN: 978-1-61804-096-1.
- [43] Демић М.: *Кибернетски систем:човек-возило-окружење*, Центар за научна истраживања САНУ и Уневрзитета у Крагујевцу, Крагујевац, 2008.
- [44] Демић М.: *Динамичке побуде аутомобила*, Институт за нуклеарне науке Винча, Центар за моторе и возила, Београд, 2006.
- [45] Пешић Р., Петковић С., Веиновић С.: *Моторна возила и мотори опрема*, Машински факултет у Крагујевцу, Машински факултет у Бања Луци, Крагујевац, Бања Лука, 2008.
- [46] Margreet B., Paul D. V.: *IMAGINE -State of the art*, Research project, Final Report IMA10TR-040423-AEATNL32, Netherlands, October 2004.
- [47] Демић М.: *Пројектовање путничких аутомобила*, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2004.
- [48] Hanson D., James R., Nesith C.: *Tire/Pavement noise study*, NCAT Report 04-02, National Center for Asphalt Technology, Auburn University, Alabama, August 2004.
- [49] Roovers M.S.: *Tyre/road noise measurements for passenger cars according to EU directive 2001/43*, Tehnical Report M+P Noise and Vibration Consultants, Netherlands, 2003.
- [50] Jha S.K.: *Characteristic and sources of noise and vibration and their control in motor cars*, Journal of sound and vibration, Volume 47, Issue 4, pp. 543-558, August 1976.
- [51] Andersen B., Kragh J., Bendtsen H.: *Acoustic performance of low noise road pavements*, Tehnical Report SILVIA-DTF-DRI-010-02-WP4-290605, Danish Road Institute/Road Directorate Ministry of Transport and Energy, Denmark, June 2005.
- [52] Alt N., Wiehagen N., Schlitzer W.M.: *Interior Noise Simulation for Improved Vehicle Sound*, Society of Automotive Engineers Technical paper, doi: 10.4271/2001-01-1539, 2001.
- [53] Happian-Smith J.: *An Introduction to Modern Vehicle Design*, Reed Educational and Professional Publishing Ltd, 2002, ISBN: 07506 5044 3.

- [54] Ginn B., Hald J.: *Aerodynamic noise source identification in wind tunnels using acoustical array techniques*, Brüel & Kjør A/S, Nærum, Denmark, 1996.
- [55] Sellgren U., Akerblom M.: *A model based design study of gearbox-induced noise*, Proceedings of the International Design Conference – Design 2004, Dubrovnik, 18-21 May, 2004.
- [56] Amadasi G., Speranza L., Canella A.: *A different approach to noise problem solving in automotive*, Vibroacoustics in Automotive.
- [57] F.de Roo, M.G. Dittrich, P.J.G. van Beek, C. Bosschaart, G.B. Derksen, M. de Kievit *VENOLIVA - Vehicle Noise Limit Values - Comparison of two noise emission test methods-Final Report*, European Commission, Project number 033.23382, TNO report, MON-RPT-2010-02103, 30 March, 2011.
- [58] Кузовић Љ.: *Капацитет и ниво услуге друмских саобраћајница*, Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, Београд, 2008.
- [59] Правица П., Дринчић Д.: *Електроакустика*, Висока школа електротехнике и рачунарства струковних студија Београд, Београд, 2006.
- [60] *Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of Council*, Official Journal of the European Communities relating to the assessment and management of environmental noise, pp.12-25, 25 June 2002.
- [61] Cvetković D., Prašćević M.: *Rating noise level as environmental noise indicator*, Working and living environmental protection, Nis, Volume 1, No 5, pp.39-50, 2000, UDC 534.836.
- [62] Golmohammadi R., Abbaspour M., Nassiri P., Mahjub H.: *A compact model for predicting road traffic noise*, Journal Environment Health Sci. Eng., Iran, Volume 6, Issue 3 pp. 181-186, 2009.
- [63] ISO 1996-1:2003: *Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment procedures*, 2003.
- [64] SRPS ISO 1996-1:2010: *Akustika - Opisivanje, merenje i ocenjivanje buke u životnoj sredini - Deo 1: Osnovne veličine i procedure ocenjivanja*, 2010.
- [65] Calvo J.A., Alvarez-Caldas C., San Roman J.L., Cobo P.: *Influence of vehicle driving parameters on the noise caused by passenger cars in urban traffic*, Transport Research Part D: Transport and Environment, Volume 17, Issue 7, pp. 509-5013, October 2012.
- [66] Jakovljević B., Paunović K., Belojević G.: *Road traffic noise and factor influencing noise annoyance in urban population*, Environment International, Volume 35, Issue 3, pp. 552-556, April 2009.
- [67] Сл. Гласник РС бр. 135/04: *Закон о заштити животне средине*, 2004
- [68] Сл. гласник РС бр. 36/2009: *Закон о заштити од буке у животној средини*, 2009.
- [69] Ali S.A., Tamura A.: *Road traffic noise mitigation strategies in Greater Cairo, Egipt*, Applied Acoustics, Volume 63, Issue 11, pp.1257-1265, November 2006.
- [70] Jonasson, H.G.: *A theory of traffic propagation with applications to Leq*, Journal of Sound and Vibration, Volume 30, Issue 3, pp.289-304, 1973 .
- [71] Fleming G., Rapoza A., Lee C.: *Development of National Reference Energy Mean Emission Levels for FHWA Traffic Noise Model Version 1.0.Report FHWA-PD-96-008 and DOT-VNTSC-FHWA-96-2*, FHWA, US Department of Transportation, 1996.
- [72] Hamet JF., Steimer V.: *Modelling pass-by noise of heavy trucks by power unit noise and rolling noise*, Proceedings of the International Congress and Exhibition on noise control engineering 2001 (INTER NOISE 2001), Hague, Netherlands, pp.2325-2330, 27-30 August 2001.
- [73] Brüel & Kjør: *Leq, SEL -WHAT? WHY? WHEN?*, Primers & Handbooks, <http://www.bksv.com/library/primers.aspx>, преузето: Јун 2012.
- [74] Завод за јавно здравље Зрењанин - Република Србија: *Годишњи извештај о мерењу буке у животној средини у Зрењанину*, Зрењанин, Јануар 2012.

- [75] Завод за јавно здравље Суботица- Република Србија: *Мониторинг буке на територији града Суботица у току 2010 године*, Центар за хигијену и хуману екологију- Одељење заштите животне средине, Суботица, Март 2011
- [76] Вукадиновић С., Поповић Ј.: *Математичка статистика*, Универзитет у Београду, Београд, 1996. ISBN 86-81019-13-9.
- [77] European Council: *70/157 EEC Council Directive on the approximation of the law of the Member States relating to the permissible sound level and exhaust system of motor vehicles*, 6 February, 1970.
- [78] Републички завод за статистику: *База података – Становништво, Саобраћај и везе*, <http://www.stat.gov.rs/WebSite/public/ReportView.aspx>, преузето: Новембар 2012
- [79] Сл. гласник РС, бр. 40/2012: *Правилник о подели моторних и прикључних возила и техничким условима за возила у саобраћају на путевима*, 2012.
- [80] SRPS U. J6.090.: *Мерење буке у животној средини*, 1992.
- [81] Babic S., Lukić J., Pešić R., Milosavljević B.: *Noise and exhaust emissions from road transport – the case of Serbia*, Metalurgia International, Issue 7, pp.39-45, 2013, ISSN:1582-2214.
- [82] Paoprayoon S., Wongwiset P., Narupiti S.: *Development of Thailand's vehicle noise emission level under stop and go traffic condition*, Proceedings of the Joint International Conference on Sustainable Energy and Enviromet (SEE), Hua Hin, Thailand, 1-3 December 2004.
- [83] Maruyama M., Kuno K., Sone T.: *The minimum measurement time for estimating L_{AeqT} of road noise from the number of vehicle pass-bys*, Applied Acoustics, Volume 74, Issue 3, pp. 317-324, March 2013.
- [84] Priyantha D.M.W.: *The influence of local traffic on noise level (case study:bypass Rai and Sunset road, Bali)*, Journal Bumi Lestari, Volume 12, Issue 1, pp. 24-31, February 2012.
- [85] Guarnaccia C., Lenza T., Quartieri J.: *An experimental study on the propagation of noise produced by road traffic*, Latest Advances in Acoustics and Music, Proceedings of the 13th WSEAS International Conference on Acoustics & Music: Theory & Applications (AMTA '12), pp. 244 – 250, June 13-15, 2012, ISBN:978-1-61804-096-1.
- [86] Tang S.K., Tong K.K.: *Estimating traffic noise for inclined roads with freely flowing traffic*, Applied Acoustics, Volume 65, Issue 2, pp.171-181, February 2004.
- [87] Alberola J., Flindel I. H., Bullmose A. J.: *Variability in road traffic noise levels*, Applied Acoustics, Volume 66, Issue 10, pp. 1180-1195, 2005.
- [88] Law C. L.: *Study on factors affecting the uncertainties in road traffic noise prediction*, University of Hong Kong, Dissertation, 2000, EVNM 8004.
- [89] Rodrigues F., Schiavon A. F., Cocco D. P. R., de Oliveira P. H. S.: *Development of urban traffic noise model : a case study in Brazil*, Proceedings of the 17th International congress on sound & vibration, Cairo, pp.8, July 2010.
- [90] Gundogdu, O., Gokdag M., Yuksel F.: *A traffic noise prediction method based on vehicle composition using genetic algorithms*, Applied Acoustics, Volume 66, Issue 7, pp. 799-809, July 2005.
- [91] Tsay J.S., Lo J.J., Lin Y.S.: *The study of mathematical model for predicting road traffic noise*, Tamkang Journal of Science and Engineering, Volume 6, Issue 2, pp. 111-120, 2003.
- [92] Pamanikabud P., Vivitjinda P.: *Noise prediction for highways in Thailand*, Transport Research Part D: Transport and Environment, Volume 7, Issue 6, pp.441-449, November 2002.
- [93] Paul D. V., Margreet B., Edwin V.: *Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management Of Environmental Noise*, Final tehcnical report HAR7TR041213AEAT04, Netherlands, 25 February 2005.
- [94] Wolfgang P.: *Accuracy and precision of prediction models for road noise*, Proceedings of the Institute of Acoustics, Volume 1, part 3, EURONOISE 2009, Edinburgh, Scotland, 26-28 October 2009.

- [95] Al-Mutairi N., Al-Rukaibi F., Koushki P.: *Measurements and model calibration of urban traffic noise pollution*, American Journal of Environmental Sciences, Volume 5, pp.613-617, 2009, ISSN 1553-345X.
- [96] Ramirez A., Dominguez E.: *Modeling urban traffic noise with stochastic and deterministic traffic models*, Applied Acoustics, Volume 74, Issue 4, pp. 614-621, April 2013.
- [97] Wayson R. L., Lindeman W., Ogle, T.W.A.: *Development of reference energy mean emission levels for highway traffic noise in Florida*, Transport research board, Issue 1416, pp. 82-91, 1993, ISSN: 0361-1981.
- [98] Milosavljević B., Pešić R., Lukić J., Babić S.: *Estimation of air pollution from motor vehicle in urban areas and street network - a case study of Kraljevo city*, Metalurgia International, Volume 8, No.7, pp. 34-38, 2013, ISSN: 1582-2214.
- [99] Czyzewski A., Ejsmont J.: *Validation of HARMONOISE/IMAGINE traffic noise prediction model by long term noise and traffic monitoring*, Proceedings of the Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting, Reykjavik, Iceland, 17-19 August 2008.
- [100] Lee S.Y.C., Fleming G.G.: *Measurement of highway – related noise*, U.S. Department of transportation research and special programs administration, Final report, May 1996.
- [101] Bendtsen H.: *The Nordic prediction method for road traffic noise*, The Science of the Total Environment, Volume 235, Issue 1, pp. 331-338, September 1999.
- [102] Despotović M., Babić S., Lukić J., Milosavljević B.: *Application of artificial neural network for prediction of traffic noise based on the traffic flow structure*, 7th International Quality Conference, Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, May 23th 2013, ISBN: 978-86-86663-93-1