

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Урбано инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Предмет: Мониторинг параметара животне средине

Број индекса: 908/2015

Немања Н. Весовић

Мере за смањење буке у урбаним срединама

дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Горан Бошковић, ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да изврши мониторинг буке у урбаним срединама, са посебним акцентом на саобраћајну буку и утицај на стамбене и пословне зграде у близини прометних саобраћајница. У првом делу рада потребно је дати преглед карактеристика и физичких параметара звука, као и основних појмова везаних за буку и заштиту од буке. Други део рада односи се на експериментално мерење буке коришћењем професионалног уређаја за мерење буке као и нумеричко моделирање буке коришћењем ГИС софтвера. Рад треба да садржи следеће целине:

1. Увод
2. Звук (карактеристике, физички параметри, изворизвука)
3. Бука (типови буке, мерење буке, инструменти за мерење буке и методологија)
4. Заштита од буке
5. Комунална бука у Крагујевцу (званични извештаји, мерење комуналне буке на терену, симулација у софтверу qGis)
6. Предлог мера за смањење буке
7. Закључак
8. Литература

Препоручена литература:

- [1] Узуновић Ратко, Заштита од буке и вибрација: менаџмент квалитетом и околином, Београд, 1997
- [2] David A. Bies, Colin H. Hansen, Engineering Noise Control: Theory and Practises, Fourth Edition, London and New York, 2009
- [3] Enda Murphy, Eoin King, Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health and Policy, Dublin and Hartford, 2014

Крагујевац, 01.03.2019.године

Ментор:

др Горан Бошковић, доцент

Резиме

У уводном делу рада објашњене су карактеристике, физички параметри и извори звука, затим у наставку детаљно се говори о буци, њеном утицају и дејству. Наведени су типови буке, начини мерења нивоа буке као и инструменти, затим штетна дејства буке. У наставку рада представљен је експериментални део, који подразумева анализу извршеног теренског мерења нивоа буке, као и предлагање мера унапређења постојећег стања. Уз помоћ софтвера qGIS извршена је симулација утицаја буке од саобраћаја на објекте у близини посматране раскрснице, а затим су резултати симулације упоређени са експерименталним резултатима. Велики број објеката, на анализираној раскрсници, налази се на удару буке услед фреквентног саобраћаја, због чега је предложена изградња обилазнице како би се смањио интензитет саобраћаја. Такође су анализиране и мере изградње звучних баријера, али и замена столарије у становима новом столаријом која пружа бољу звучну изолацију.

Кључне речи: комунална бука, контрола буке, саобраћај, qGIS

Summary

The introductory part explains the characteristics, physical parameters and sound sources, and then discusses about noise, and his influence and effect in detail. The types of noise are listed, ways of measuring noise levels and instruments for measuring, then the harmful effects of noise. In the continuation are presented experimental part, which includes the analysis of the field noise measurement carried out, and proposing ideas for improving the existing situation. The qGIS software help with a simulation of the effect of traffic noise on objects near the observed intersection was performed, and then the simulation results were compared with the experimental results. A large number of buildings, at the intersection, are affected by the frequency of traffic noise, which is a bypass has been proposed to reduce traffic intensity. The measures for the construction of sound barriers were also analyzed, as well as the replacement of carpentry in apartments with new carpentry, which provides better sound isolation.

Key words: environmental noise, noise control, traffic, qGIS

Садржај

1. Увод	1
2. Звук	2
2.1 Карактеристике звука	2
2.2 Физички параметри звука: притисак и интензитет	3
2.3 Извори звука	5
3. Бука	8
3.1 Утицај буке	8
3.2 Психолошки утицаји буке	9
3.3 Физиолошко дејство	11
3.4 Типови буке	12
3.5 Мерење буке	14
3.6 Инструменти за мерење буке и методологија	15
3.7 Штетна дејства буке на разумљивост и продуктивност	20
4. Заштита од буке	21
4.1 Звучне баријере	24
4.2 PVC столарија	27
5. Комунална бука у Крагујевцу	30
5.1 Званични извештаји	30
5.2 Мерење фреквенције саобраћаја	32
5.3 Мерење комуналне буке на терену	36
5.4 Симулација у софтверу qGIS	39
6. Оптимизација нивоа буке на анализираној локацији кроз имплементацију одговарајућих мера	43
6.1 Оптимизација нивоа буке изградњом градске обилазнице	43
6.2 Оптимизација нивоа буке постављањем звучних баријера дуж саобраћајница	45
6.3 Оптимизација нивоа буке у затвореном простору коришћењем PVC столарије	46
7. Закључак	49
8. Литература	50

1. Увод

У данашњем времену квалитет живота људи може се нарушити различитим факторима, међу којима је и повећање нивоа буке (слика 1). У поређењу са другим облицима загађивања животне средине, бука је по свом утицају веома специфична. Њено дејство је тренутно, нема закаснеле ефекте, али се може пролазно или трајно негативно одразити на свеопште стање човека.



Слика 1 – Саобраћај ствара велику буку

Појам буке се најчешће повезује са два карактеристична феномена:

- наглом и свеобухватном урбанизацијом,
- повећањем броја извора буке.

Бука представља проблем целог света, сваког континента, сваке земље. Једноставно речено, бука је цена индустријског напретка. Она погађа све слојеве друштва.

Најзначајнији извор буке је саобраћај, који представља непрекидно оптерећење за човека, а најизраженија опасност је у градовима. Најизложенији су станари на прометним саобраћајницама, где је врло тешко избећи сталан утицај буке. Поред саобраћаја, јавља се и индустријска бука, која доприноси њеним негативним последицама. Њено дејство значајно је увећано заменом људског рада, тј. радом великих машина, чија се снага не може мерити са људском. Лични и друштвени стандард, тј. његово повећање, свакодневно утиче на стварање нове количине буке. Све више се јавља бука и у сеоским домаћинствима проузрокована модернизацијом пољопривредне механизације. Поред буке која долази из спољашњег света, треба поменути повећање исте, коју емитују разни кућни уређаји, које човек сам уноси у свој дом [1].

Данас, бука представља физички штетни агенс који се по својим критеријумима може мерити са проблемом загађења воде и ваздуха, као и других основних елемената битних за здрав живот и рад.

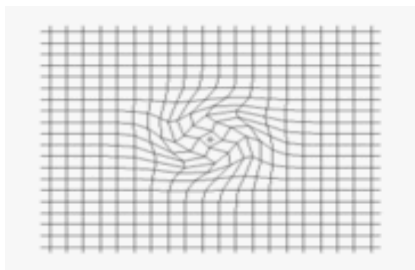
2. Звук

Звук представља промену притиска која се шири еластичном средином, а настаје као последица осциловања молекула средине, који су због утицаја спољашње средине избачени из равнотежног положаја.

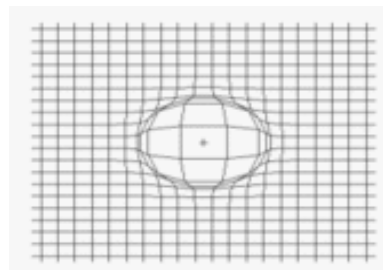
Област која се бави звуком назива се акустика, и она покрива све области звука, без обзира на извор и пријемник звука.

Звук се кроз еластични медијум креће као талас, па се зато разликују две врсте таласа:

- трансверзални (слика 2),
- лонгитудинални (слика 3).



Слика 2 - Трансверзални талас



Слика 3 - Лонгитудинални талас

У чврстим срединама могуће је ширење и трансверзалних и лонгитудиналних таласа, док се кроз флуиде могу ширити само лонгитудинални таласи [1].

Херц представља јединицу за мерење фреквенције осцилација и означава се са Hz. Фреквенција је број осцилација произведених у секунди. Људско ухо чује звук фреквенције од 20 до 20.000 Hz. Звукови испод 20 Hz јесу инфразвукови, док се звукови преко 20.000 Hz називају ултразвук, и имају примену само у техници и медицини [2].

2.1 Карактеристике звука

Фреквенција и таласна дужина представљају физичке величине којима је, као механички талас, одређен звук. Брзина звучног таласа зависи од средине којом се креће. Брзина таласа у ваздуху је 340 m/s, на температури од 22°C, док је у течностима већа, а у чврстим телима има највећу вредност од неколико хиљада метара у секунди.

Најкраћу удаљеност две честице у истој фази осциловања представља таласна дужина, тј. то је размак између две највише тачке на суседним амплитудама звучног таласа. Када талас прелази из једне средине у другу, различитих густина, брзина и таласна дужина му се мењају, док је фреквенција иста.

Када су познати брзина звука и фреквенција, може се израчунати његова

таласна дужина према једначини 2.1.

$$\lambda = \frac{V}{\nu} \quad (2.1)$$

где су:

- λ - дужина [m],
- V - брзина звука [m/s],
- ν - фреквенција [Hz].

Звукови се могу поделити на две целине: шумови и тонови. Звук који настаје неправилним осциловањем звучног извора при чему се фреквенција стално мења, представља шум. Тон настаје правилним осциловањем звучног извора, док је фреквенција стална.

Звук који се састоји од једне компоненте, тј. једног тона, представља прост звук. Уколико се састоји од више компоненти, онда је то сложен звук. Сложен звук може бити састављен од јасно дефинисаних компоненти, или у себи може имати све фреквенције. Ова последња врста је најзаступљенија и назива се шумом. Управо ова врста звука се среће на улицама и представља буку, која је окарактерисана као загађивач животне средине [3].

2.2 Физички параметри звука: притисак и интензитет

При судару два или више предмета који емитују енергетски талас настаје звук. Звучни таласи се од места настанка шире у свим правцима.

Величина којом се најчешће описује неки звук је звучни притисак. Он представља малу промену постојећег атмосферског притиска, до које долази услед кретања честица ваздуха. Изражава се у паскалимa (Pa). Поред звучног притиска, јавља се и друга величина звана интензитет звука. Уколико постоје звучни таласи, интензитет звука је у свакој тачки дефинисан и представља звучну енергију која прође кроз јединичну површину [1].

Сваки звучни извор има неку снагу која се изражава у ватима - P [W]. Снага извора је акустичка енергија која у јединици времена одлази у околни простор. Најчешће се снага извора одређује помоћу интензитета звука као на обрасцу 2.2:

$$P = 4\pi r^2 J \quad (2.2)$$

где су:

- P – снага извора [W],
- r – полупречник замишљене лопте [m],
- J – интензитет звука који влада на површини замишљене лопте [W/m²].

Податак о снази извора звука или буке је врло важан, јер се на основу њега може извести тачна анализа других параметара који карактеришу звучно поље у околини извора.

Постоје три главне јединице које карактеришу звук, поред звучног притиска који је већ поменут, а који се изражава у паскалима [Pa], звук карактерише и ниво звучног притиска L , који се изражава у децибелима [dB]. Нула на децибелској скали се заснива на најнижем нивоу звука који здрав људски организам може да детектује. Децибели нису линеарне јединице попут километра или килограма, већ представљају референтне тачке на растућој кривој. Децибел се у акустици дефинише као по обрасцу 2.3:

$$L = 20 \log \frac{p}{p_0} = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (2.3)$$

где су :

- p – притисак [Pa],
- L – интензитет звука [dB],
- p_0 и I_0 – референтне вредности ових величина,
- $p_0 = 20 \mu Pa$.

Стандардно се интензитет звука у децибелима приказује у односу на референтни износ од $20 \mu Pa$ који начелно одговара прагу чујности, па се то обично означава SPL. На пример шапат има 20dB (SPL) [1].

Децибел није апсолутна јединица – представља однос између измерене вредности и усвојене референтне вредности.

Људско ухо детектује веома мале промене притиска, оне се крећу у распону од $20 \mu Pa$ до $100 Pa$ (слика 4).

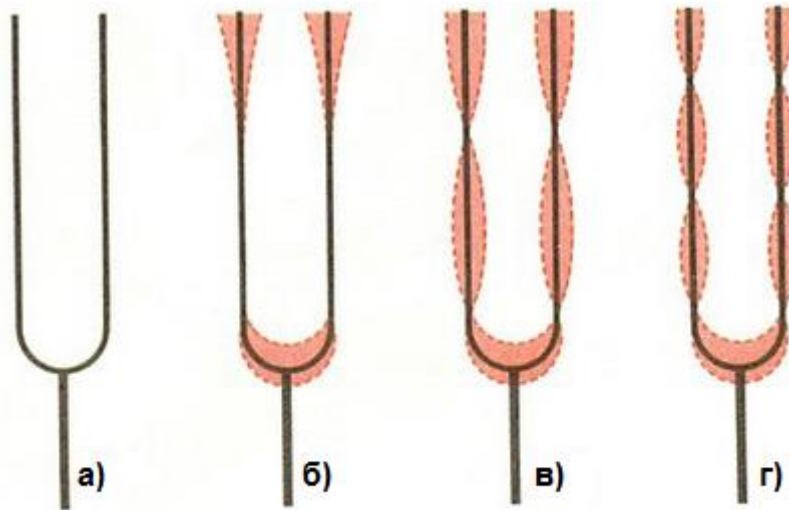


Слика 4 - Однос скале звучног притиска у Pa и dB

2.3 Извори звука

Свако тело које осцилује фреквенцијом у интервалу чујности (20Hz – 20kHz) може да буде извор звука. Међутим, у пракси се користе само извори који могу да задовоље одређене захтеве. Дobar извор звука је онај који енергију сопственог осциловања успешно преноси на околну средину. Ефикасност преношења се побољшава додавањем резонаторских шупљина. На тај начин се добија јаснији и интензивнији звук.

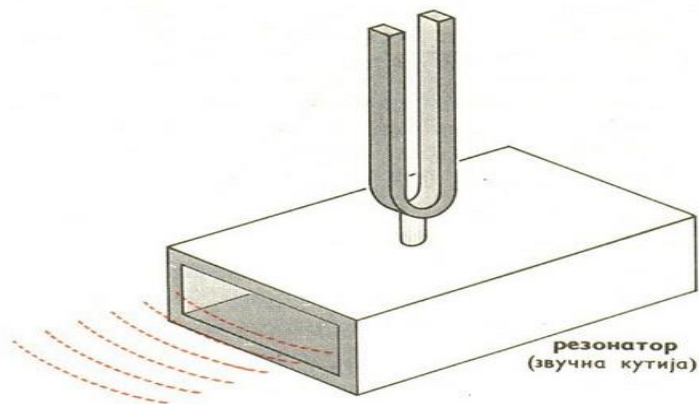
Звучна виљушка (слика 5) се најчешће користи у лабораторијама као извор простог звука фреквенције 300 - 400 Hz. Звучна виљушка емитује веома слаб звук.



Слика 5 - Звучна виљушка

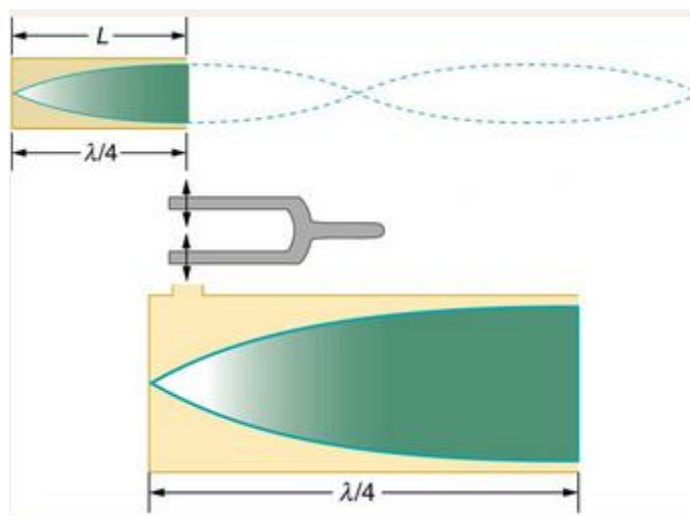
- (а) - изглед звучне виљушке кад не осцилује,
- (б) - звучна виљушка осцилује и емитује звук основног хармоника,
- (в) - звучна виљушка осцилује и емитује звук 1. хармоника,
- (г) - звучна виљушка осцилује и емитује звук 2.хармоника.

Када се звучна виљушка стави на дрвену правоугаону кутију, добија се знатно јачи звук. Појачан звук се добија осциловањем ваздушног стуба у звучној кутији (резонатору) (слика 6).



Слика 6 - Резонатор

Да би дошло до осциловања ваздушног стуба због резонанције, дужина кутије треба да буде једнака четвртини или непарном умношку четвртине таласне дужине звучног таласа који емитује звучна виљушка (слика7) [4].



Слика 7 - Потребна дужина кутије

Основне карактеристике звучних извора су сопствена фреквенција и снага.

Као звучни извори, чије особине могу да се мењају по потреби, користе се звучне виљушке, сирене, музички инструменти, звучници, итд.

Најједноставнији извори звука су затегнуте жице, ваздушни стубови и штапови. На основу објашњења емитовања звука код ових извора, може се објаснити и принцип емитовања звука код сложенијих звучних извора.

3. Бука

Бука представља сваки нежељени звук. Свака звучна појава као што је зујање, галама или шум, а која омета рад или одмор, јесте управо бука. Она је нарочито у последње време, један од великих узрока нарушавања здравља људи, посебно у густо насељеним градовима. Некада је дејство буке било ограничено само на орган слуха, док се данас на основу систематских испитивања сматра да је њено дејство много шире и сложеније.

Поред физичких елемената, бука садржи и психолошке, јер се под одређеним условима и релативно тихи звуци могу сматрати буком. Основна карактеристика буке је њен ометајући фактор који потиче од више величина: јачине, расподеле тонова, ритма понављања и субјективне склоности особе. Тако да на пример музика која се пушта у клубу преко звучника, не делује присутнима као нежељени звук, а доводи до оштећења слуха у свим случајевима када се прекорачи одређена граница звучног нивоа.

Најважнија карактеристика буке је интензитет односно јачина. Када потиче од једног извора произвољног интензитета и удаљености може се мерити, а такође и ублажити. Уколико су узрочници буке више извора, као што је саобраћајна бука, отежано је мерење интензитета, као и идентификација локације извора. Од самог настанка градова и појаве буке, прати се и изучава овај проблем.

Акустична средина која је најбоља за човека је нормалан разговор од 40 до 50 dB. Тотална тишина, сматра се да није тако корисна, зато што чак и особа која нема тако добар слух у таквој прилици чује кретање крви кроз крвне судове и куцање срца. Све што је гласније од нормалног разговора није добро по организам.

3.1 Утицај буке

За неповољно дејство буке одавно се зна. Присутни нивои буке у комуналној средини нису довољно високи да би довели до оштећења слуха, али изазивају читав низ лоших ефеката. На буку су нарочито осетљива деца млађа од 6 година, као и особе које су старије од 65 година. По питању буке, жене су нешто осетљивије од мушкараца. Она се убраја у стресогене факторе и утиче на поремећај психосоматског здравља, зато што изазива специфичне и неспецифичне ефекте, као и сталне и привремене реакције организма. У свету се данас све више поклања пажња ефектима комуналне буке, јер истраживања показују да она отежава настанак сна, чини га површним, скраћује фазу дубоког сна и доводи до буђења, чиме се одражава на промену расположења, осећање умора, невољности, главобољу, итд. За добар сан неопходно је да бука не прелази 30 dB. У табели 1 приказани су гранични нивои буке у комуналној средини [19].

Табела 1- Гранични ефективни нивои буке присутни у комуналној средини

Граница за ометање сна код трајне буке	30 dB
Граница за ометање сна код возила у пролазу	45 dB
Разговор у просторији: граница буке за тихи разговор	40 dB
Разговор у просторији: граница буке за повишени разговор	50 dB
Граница почетка оштећења слуха на радном месту	75 dB

Осим на чуло слуха, негативни ефекти буке се манифестују и на организам човека у целини. Бука око 65 dB, само код веома осетљивих особа изазива узнемиреност, главобољу, раздражљивост, док већ ниво буке од око 90 dB, значајније делује на здравље, краткотрајно утиче на слух и изазива психичке сметње. Међутим, када овај ниво буке досегне вредност преко 90 dB, односно до 120 dB, која се среће у пракси, при дужој изложености, долази до трајних промена, глувоће и тежих неуровегетативних поремећаја [2].

Последице буке на људе:

- наглувост и глувоћа,
- неуровегетативне реакције,
- умор и психичке реакције,
- смањење радне и животне способности.

3.2 Психолошки утицаји буке

Психолошко тумачење буке и њено дејство на човека немогуће је дефинисати законима, нити је мерљиво инструменталним методама. На основу реаговања људи, оцењују се психолошки утицаји, који се манифестују различито и тесно су повезани са нервним системом и психичким стањем човека. У психолошкој терминологији, за интензитет буке се каже “јачина”, а за фреквентни карактер “висина”. Психолошка реаговања на висину и јачину тона повезана су са слушним механизмом уха. Ухо које има способност да прими звучне таласе и да их трансформише у осећаје у виду надражаја, не реагује подједнако на звуке различитих фреквенција. То произилази из слушног механизма уха, које је по свом унутрашњем саставу, током еволуције, тако саграђено да је

репродуктивни апарат звучних таласа селективан. Најосетљивије је за фреквенције од 1.000 до 5.000 Hz, а за остале фреквенције испод 16 или изнад 20.000 Hz физиолошки је неосетљиво.

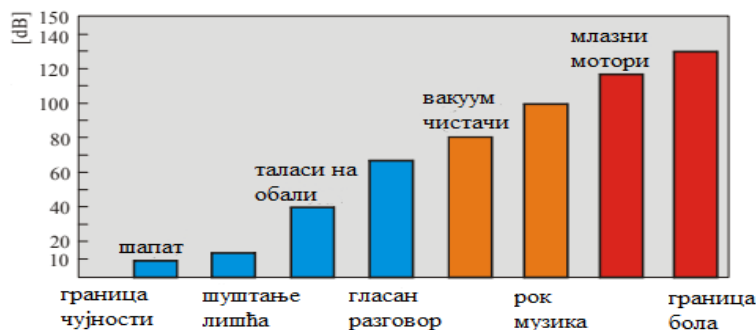
У борби за смањење буке, шум је непријатан звук. Он може да буде чист тон или тембр. Да ли је звук пријатан или не зависи од тога како делује на особу која га слуша. Звук аутомобилске сирене на улици се третира као непријатан звук и поред тога што може да произведе музички тон.

Познато је да бука досађује, смета или замара. Ово је повезано са јачином и фреквентним спектром буке као и са неравномерним временом излагања одређеном звуку. Један звук у почетку деловања не мора бити досадан, међутим ако су му људи изложени дуже време, може постати неподношљив, а може да буде досадна и музичка мелодија уколико се претера у извођењу. Са друге стране, шум лишћа, жубор потока су пријатни, делују освежавајуће на нервни систем и поред тога што су то звуци неодређених фреквенција. Зато се сматра да је бука звук који смета, узнемирава и раздражује, било да је чист тон или шум [5].

Пријатан звук може да буде прост и сложен или шум уколико је поред свих својих физичких особина везан за амбијент природе. Уколико би жубор потока или шум воде у лавабоу, у физичком смислу, имали исте особине, исти фреквентни спектар и интезитет, тада би жубор потока био пријатан јер је везан за природу, док је шум воде у лавабоу непријатан.

Раднику који је навикао на шум мотора или генератора, овај шум је чак и пријатан, јер љубав према послу и сазнање да њиме зарађује новац, субјективно одстрањује помисао да му тај шум смета.

У индустријским погонима као што су котларнице, погони за прераду дрвета, где бука може да достигне вредност од 120 dB за раднике изгледа да је подношљива, али само привидно. При томе се губи из вида како су радници реаговали на њу у почетку, ступајући у рад на таквим бучним погонима док се нису привидно навикли. Ово привикавање обавезно је праћено оштећењем слушног органа у смислу повећања слушног прага. За овакве случајеве везана је професионална наглувост која наступа лагано и повећава се упоредо са дужином времена проведеним на послу, а може доћи и до потпуног губитка слуха. Код младих радника, почетак професионалне наглувости манифестује се звоњењем у ушима и вртоглавицом, док то не важи за старије раднике, јер су они ту фазу већ прошли, тј. њихово чуло слуха постало је мање осетљиво за буку веће јачине. За оцењивање психолошког утицаја буке, важно је да се зна да не игра улогу само јачина, већ и висина. Високи тонови су непријатнији од нижих. При томе улогу игра и ритам, испрекиданост, периодичност или непериодичност, промене интензитета. На слици 8 приказан је дијаграм на коме се могу видети нивои звука од границе чујности до границе бола.



Слика 8 - Упоредни приказ интензитета појединих звукова

Типично за психолошко дејство буке је да исти шум различити људи врло различито осећају, тј. да једни могу да га осете као буку, а други ко пријатне шуме.

Лош сан представља основну и најважнију негативну последицу комуналне буке која се може очекивати код становника урбаних средина. Издваја се бука тешких возила и возова. Велики број истраживања показало је учесталост психолошких сметњи, код људи који живе у областима са великим нивоом буке, најчешће поред аутопутева. Они се такође жале на умора, главобоље знатно више него становници насеља са нижим нивоом буке.

3.3 Физиолошко дејство

Физиолошко дејство буке на човека је веома сложено. Многа испитивања у том правцу још увек су недовољна да би се јасно сагледале све последице и поремећаји физиолошких органа који су изазвани дејством буке. Разлог је функционална повезаност и сложеност органа, који преко централног нервног система врше своје одговарајуће функције. Дугогодишња испитивања физиолошког дејства буке данас поуздано говоре да бука штетно делује на вегетативни нервни систем. Последице могу да буду пролазне или у зависности од карактера буке, фреквентног спектра, ударног дејства, времена трајања и интензитета – може доћи до трајних патолошких поремећаја. Бука такође утиче на оболевање других система и органа, као што су: обољење срца и крвних судова, органа за варење итд.

Већина утицаја буке је пролазна и краткотрајна, на пример смањење пажње и памћења, имунолошки и кардио - васкуларни поремећаји. Међутим, проблеми могу прећи у хроничне као што је повишен крвни притисак, несаница, напетост.

Испрекидана бука скраћује период спавања, чинећи сан површним. Ефекти буке након буђења испољавају се у виду умора, промене расположења, паду радне способности и здравственим поремећајима.

Испитивања су показала да бука нивоа преко 160 dB врло брзо убија животиње, што би се на сличан начин одразило и на човека. Захваљујући томе да се бука овако високог нивоа не појављује у индустрији и уопште у домену свакодневног човековог кретања, не може се говорити о директним акустичним повредама.

Пошто се рецептори за равнотежу налазе у унутрашњем уху, постоји опасност да

под дејством буке великог интензитета осећаји за равнотежу ослабе, а на основу тога се повећа опасност за повреде радника.

Обзиром да се физиолошка и психолошка природа људи широко подудара, немогуће је направити извесна уопштавања и довести их у везу са физичким законима. Могуће је позвати се на те законе и применити их, у циљу умањења или отклањања сметњи, које бука ствара. На пример, један човек може да буде психички врло осетљив на буку, а ипак да има нормалне вегетативне реакције или психички индиферентан према буци, а упркос томе да показује велике вегетативне реакције.

Уколико бука утиче на вегетативне реакције не може доћи ни до каквог привикавања на буку. Субјективно привикавање долази само код психичког деловања, али не сасвим независно од вегетативног. Вегетативне реакције зависе од јачине, али су независне од фреквенције буке [5].

3.4 Типови буке

Бука се класификује на основу промене њеног интензитета у зависности од времена. Временска зависност буке (промена нивоа звучног притиска у одређеном временском периоду) и њен фреквенцијски спектар (присуство и ниво буке одређених фреквенција) одређују тип буке [6].

У зависности од карактера буке у временском домену, разликују се следећи типови буке:

- непроменљива бука,
- променљива бука,
- испрекидана бука,
- импулсна бука.

Непроменљива бука (слика 9) је бука релативно константног нивоа са променама до 6 dB. Овај тип одговара буци коју емитују мотори, машине при уједначеном режиму рада, трансформатори, усисивачи и слично.



Слика 9 – Непроменљива бука

Променљива бука (слика 10) је бука променљивог нивоа, са осцилацијама од преко 6 dB. То је саобраћајна бука, бука у индустријским погонима, школама,

канцеларијама. Како би се проценила штетност ове врсте буке, уводи се појам еквивалентног нивоа буке (добијен на основу мерења у дужем временском интервалу), помоћу ког се после пореди са другим врстама комуналне буке.



Слика 10 – Променљива бука

Испрекидана бука (слика 11) је бука извора који ради у циклусима. Ниво буке веома брзо расте и опада, јавља се у интервалима, попут проласка једног аутомобила или авиона. Како би се одредио њен ниво потребно је извести мерење нивоа изложености буци за сваки циклус рада извора.



Слика 11 – Испрекидана бука

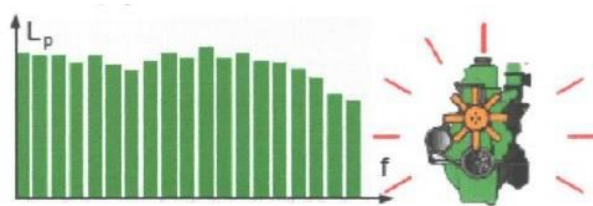
Постоји и **импулсна бука** (слика 12), која садржи један или више растућих врхова, у трајању од једне секунде. Ова врста буке је велика претња за здравље, али не представља типичну комуналну буку, те се њене карактеристике неће детаљно сагледавати.



Слика 12 – Импулсна бука

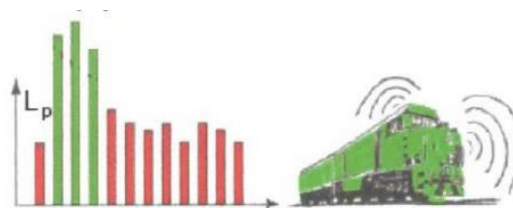
Што се тиче карактеристике буке која се везује за фреквенцију, разликују се три врсте буке:

- **широкопојасна бука** која има прилично равномеран распоред звучне енергије (слика 13) у широком фреквенцијском опсегу (обухвата више октава). Комунална бука је углавном овог типа,



Слика 13 – Широкопојасна бука

- **ускопојасна бука** је врста буке код које је звучна енергија концентрисана у ужи фреквенцијски опсег (слика 14).



Слика 14 – Ускопојасна бука

Поред ове две поделе буке на основу фреквенцијских карактеристика, бука се дели и на **тоналну** (односно буку са истакнутим тоном) и на **нискофреквентну** [7].

3.5 Мерење буке

На основу мерења буке може се исправно поступити код предузимања мера заштите од буке, такође без правилних мерења нема ни борбе против буке. Управо зато израђени су бројни инструменти и уведене сложене методе помоћу којих се може измерити буквално сваки параметар буке.

Постоје две врсте мерења:

- објективна и
- субјективна.

Поступци који служе за налажење физичких параметара буке јесу објективни видови мерења. Уведене су стандардне методе, лако примењиве, које имају за циљ да се дође до објективних параметара. Према прописима и нормама за дате услове могуће је на основу обраде података проценити и степен угрожености. Процене ометања буком јесу субјективне методе мерења и усмерене су ка одређивању директних реакција човека на стање средине. Оне дају веродостојне податке, мада их није у пракси увек могуће извести. Зато се тежи ка налажењу везе између субјективних процена и објективних параметара, како би се могло доћи до што тачнијих степена штетности.

Прецизну анализу ометајућих звукова омогућавају мерења, која дефинишу када звук може да изазове оштећења, али и када треба предузети заштитне мере. Помоћу метода мерења се уједначавају услови мерења и начини приказивања резултата. Пре свега

обухватају:

- број мерења и временски период,
- место мерења и критеријуме за избор мерних места,
- инструментаријум за мерење,
- начин обраде и приказивање резултат,
- улогу људског фактора при мерењу.

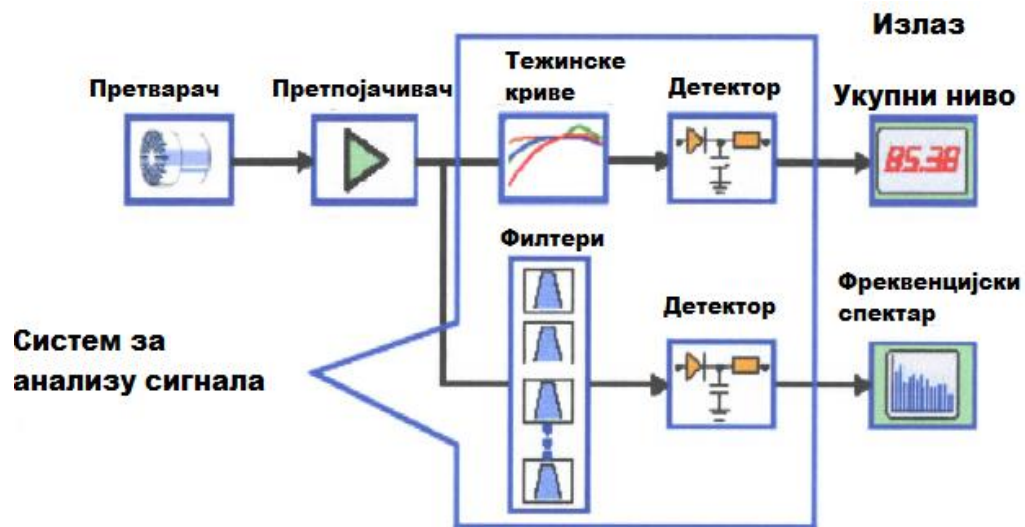
Поступци се деле на оне који служе за мерење на радним местима и на оне који служе за добијање података о буци у животној средини. Процена штетног дејства буке биће потпуна уколико се располаже што тачнијим подацима о параметрима који описују буку као физичку појаву. Захваљујући развоју аналогне и дигиталне технике у области мерне инструментације, мерење буке је достигло велику тачност и могућност да одговори захтевима и условима постављеним бројним прописима [3].

3.6 Инструменти за мерење буке и методологија

У основи постоји три врсте инструмената, како аналогних тако и дигиталних за мерење параметара буке:

- за мерење нивоа,
- за мерење амплитудног спектра,
- за праћење временских промена буке.

У суштини сваки мерни систем (ланац) се састоји од неколико основних карика (слика 15), иако су по својој природи веома различити.



Слика 15 - Мерни систем (ланац)

Статистички анализатори представљају групу мерних инструмената који се одмах или након одговарајуће обраде могу користити за статистичку обраду података. Поред ових анализатора, постоје и аутоматизовани поступци, који омогућавају да један

инструмент служи за одређивање броја података било у реалном времену или у каснијој обради [8].

При описивању буке или приказивању њене штетности, најпогоднији су параметри о нивоу буке.

У данашњој употреби налази се веома широк избор мерних инструмената намењених мерењу параметара буке у временском, фреквенцијском и амплитудном домену. У последњој деценији мерни инструменти су израђивани у складу са међународним прописима, како би се добијени резултати лакше упоређивали.

Основни инструменти за мерење нивоа буке су фонометри (слика16). Они се међусобно разликују по тачности и по могућностима мерења. Уз фонометар се најчешће везује филтер, у највише случаја пасивни, уз помоћ кога се лако одређује амплитудни спектар буке. Постоји више врста филтера, а разликују се по томе да ли се користе за прецизна мерења, специјална мерења и којих су пропусних опсега. Постоје такозвани анализатори буке, који имају велике могућности за одређивање спектра буке [9].

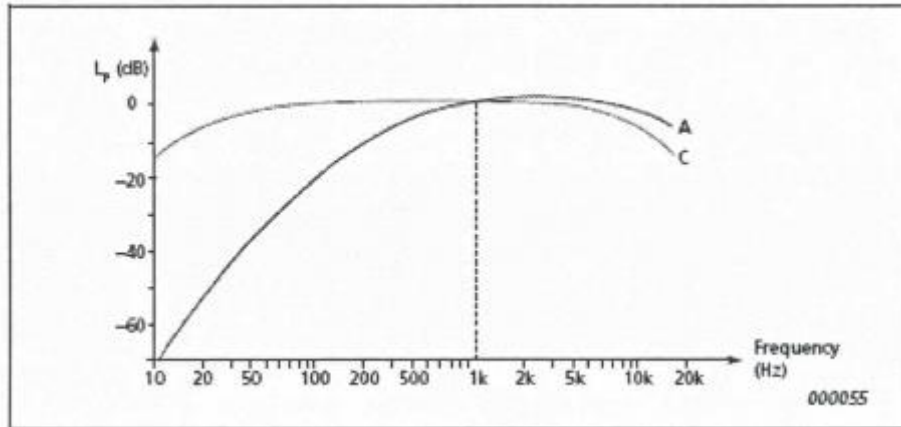


Слика 16 - Фонометар

Врсте нивоа буке су:

- пондерисан ниво у dB,
- ниво импулсне буке,
- доза буке изражена помоћу вредности у децибелима,
- ноћни и дневни ниво,
- еквивалентни ниво L_{eq} .

Када су у питању веома ниске и високе фреквенције, људско ухо је мање осетљиво, па се приликом мерења нивоа звука користе корекциони филтери. Употребом ових филтера, мерења приближно показују оно што орган слуха стварно осећа и управо зато су норме и законски прописи дати у dB (слика 17).



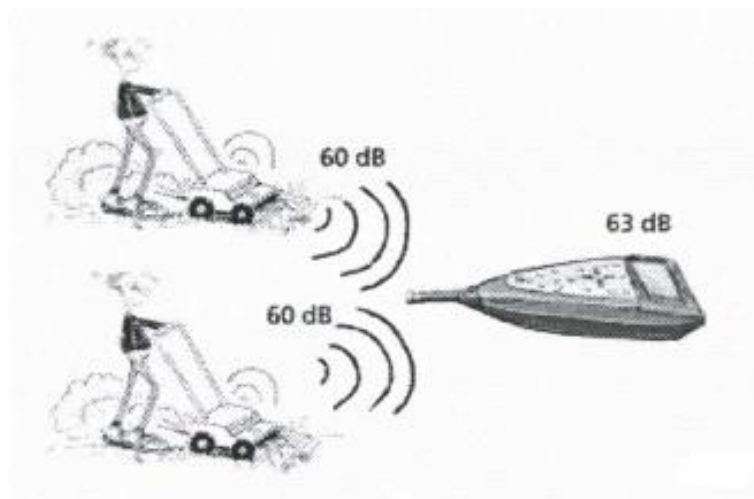
Слика 17 - Криве пондерације

Уколико је потребно знати, колики би био комбиновани ниво звучног притиска свих присутних извора звука, ако се звучни ниво из два или више звучних извора мери одвојено, нивои звукова се морају сабрати.

Конвертовањем појединачних вредности из dB у линеарне, сабирањем, а потом поновним конвертовањем у dB, сабирају се вредности исказане у dB. Ако је неко место угрожено од стране већег броја (n) различитих извора буке, онда се резултујући ниво буке може наћи по обрасцу 3.1:

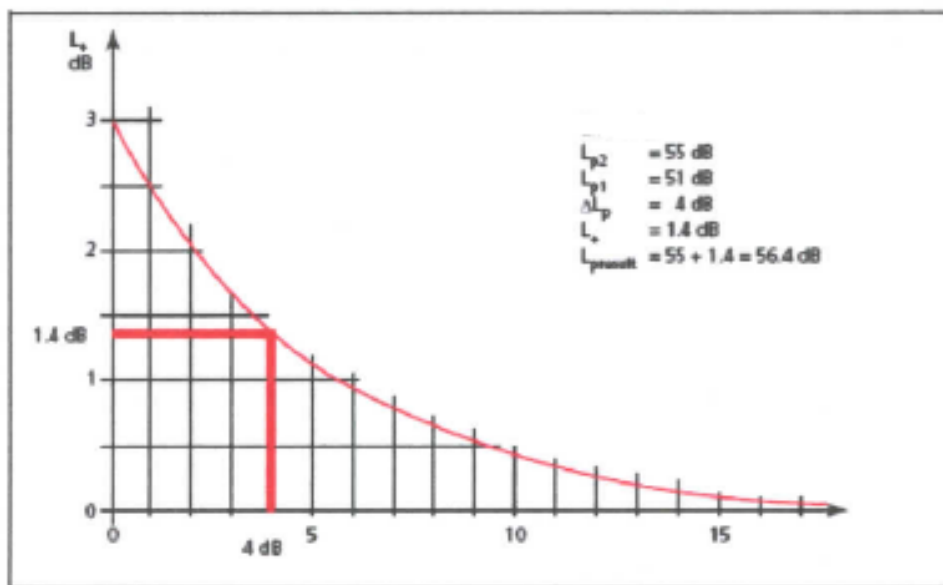
$$L = 10 * \log \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right) \quad (3.1)$$

Интензитет тј. ниво буке се смањује са повећањем растојања од извора. Уколико постоје два извора у једном простору, највећи укупни ниво буке ће бити једнак нивоу буке јачег извора. Ако су извори са једнаким нивоом буке, укупни ниво буке неће бити двоструко већи, већ само незнатно већи, на пример два извора са нивоом буке од по 60 dB дају укупни ниво буке у простору око 63 dB (слика 18). Код више извора буке сразмерно се повећава енергија звучног таласа.



Слика 18 - Резултујући ниво два извора

На графику на слици 19 се може видети колико децибела треба додати јачем нивоу да би се добио резултујући ниво. Трећи ниво, уколико и њега треба сабрати, додаје се онда на исти начин резултујућем из прва два [8].



Слика 19 - Сабирање буке уз помоћ графика

Основно што треба знати пре почетка сваког мерења је да се изврши контрола и баждарење фонометра и опреме која је изабрана за обављање мерења. Контрола и баждарење садржано је у следећем:

- контрола батеријског или мрежног електричног напона којим се фонометар напаја,
- контрола и баждарење електронског појачања појачивача и настављање корекцијског фактора микрофона,
- акустичка контрола и баждарење фонометра обавља се нормираним извором

нивоа звука, тако што се звучни извор дефинисаног нивоа постави на одређено растојање и његовим укључивањем фонометар мора да покаже ниво звука нормираног звучног извора. Уколико то није случај, са уграђеним регулатором (потенциометром) изврши се настављање нивоа.

Код мерења у затвореном простору треба микрофон поставити најмање 1,25 метара од пода и зида просторије. Ако је звучни извор у истој просторији чије се мерење буке врши, прозоре и врата треба отворити јер се тиме умањује рефлексивност и повољније је за фреквенцијску анализу. Ако је звучни извор у суседној просторији прозоре и врата треба затворити треба се придржавати упутства за мерење помоћу изабране мерне методе у односу на величину и појаву која се мери [10].

3.7 Штетна дејства буке на разумљивост и продуктивност

У индустријским погонима, где су производни процеси везани за разна објашњења, упутства, договоре и команде, бука може врло непријатно да утиче на њихову разумљивост. Људски глас у бучним индустријским одељењима и погонима може бити маскиран или прекривен буком која се смањује или потпуно онемогућује његову разумљивост. Исто тако, у бучним погонима где се сигнализирају разне опасности (присуство разних отровних или експлозивних гасова, застоји и кварови на машинама) уколико је бука маскирала ове звучне сигнале, може доћи до великих последица и повреда. Зато треба водити рачуна да користан однос нивоа сигнал/бука, задовољи онај минимум, који гарантује разумљивост говора, односно несметано примање сигнала алармних уређаја. Тај однос треба да износи најмање 10 dB.

Бука може да умањи производну способност човека. Људско ухо се може прилагодити бучној средини тако да може, субјективно гледано, да је занемари. Али то привикавање, ипак, није успешно – све зависи под каквим околностима је човек изложен буци. Човек несвесно постаје индиферентан према буци, услед замора и исцрпљености, али нервни систем и даље трпи, оптерећен је у пуној мери, што доводи до различитих обољења и смањења радне способности.

Штетно дејство буке се посебно показало код радова који захтевају сталну концентрацију и напрезање, као што је монтажа прецизно – механичких елемената.

Бука има веома штетно дејство на људе који раде у развојним лабораторијама, конструктивним бироима, где је посао везан за велико интелектуално напрезање. Сваки рад ове врсте у бучној атмосфери је немогућ [5].

4. Заштита од буке

У индустријским и урбаним срединама бука представља цену живљења. Регулацијом и ограничењем дневног и ноћног саобраћаја, техничким прописима за возила, двоструким или троструким стаклима на столаријама објеката, изолацијом зидова бука се може умањити али не и потпуно елиминисати. Код избора материјала за изградњу објеката од великог значаја је њихова способност да добро апсорбују, пропуштају или одбијају звукове. Тврди материјали као што су камен и метали, одбијају већи део звучних таласа, док меки материјали као на пример плута или филц, апсорбују звук [12].

Изолација нежељених звучних таласа је најважнија код радних и животних простора. Као прво, треба тежити елиминацији и умањењу чињеница које доводе до појаве непожељног звука, а тек након тога применити одговарајуће методе за изолацију и заустављање ширења буке на околну средину. Као неки од начина за заштиту од буке издавајају се: звучна изолација на вратима, зидовима (слика 20) и оплати уређаја, ограђивање индустријске области, одвајања градских средина од радних.



Слика 20 – Звучна изолација између соба

Заштита од буке обавља се углавном на три начина:

- смањењем нивоа буке на самом извору,
- индивидуалним мерама заштите,
- колективним мерама заштите.

Ниво буке на месту пријемника зависи од:

- окружења у коме се налази пријемник,
- звучне снаге извора,
- дужине путање којом се бука простира.

Основни принципи контроле буке зависе од елемената од којих зависи ниво буке:

- контрола на путевима преношења,
- контрола на месту пријемника,
- контрола на самом извору буке.

Уколико се ниво буке на самом извору смањи одмах, уз помоћ разних техничких контрола и иновација, а без утицаја на рад неке машине, у окружењу се мења ситуација везана за буку. Велики напредак технике, нарочито нови материјали, доносе новине везане за смањење нивоа буке у производним погонима, где је ниво стандардно висок. Уколико се на извору буке предузму све мере за смањење нивоа, примена других видова није потребна, зато се контрола буке на извору сматра примарном методом [13].

Уколико није изводљиво употребити примарне мере контроле, примењују се контролне мере на путевима преношења звука од извора до пријемника, такав приступ има највећу примену код контроле буке у животној средини.

Разни типови заштитника представљају индивидуална заштитна средства. Одлична заштита од буке јесу заштитне слушалице (слике 21 и 22). Лако се прилагоде ушним шкољкама зато што су отвори за уши широки и асиметрични.



Слика 21 – Шлем са слушалицама



Слика 22 – Заштитне слушалице

Степен пригушења буке је од 23 - 28 dB. Као још један вид заштите издваја се заштитни шлем са слушалицама (слика 21), било да се користи у целини или из делова. Са оваквим заштитним средствима опсег заштите је од 15 - 30 dB, што је значајно смањење нивоа буке. За људе који су интензивно изложени буци, заштитни чепићи за уши су идеална заштита, где је степен пригушења до 34 dB. Када је изложеност буци екстремно јака, потребно је користити и чепиће и заштитне слушалице.

На радним местима дозвољена је бука до 80 dB током осмочасовног рада. Ово је начелна норма, док је у табели 2 приказано који су допуштени нивои за поједина радна места.

Табела 2 - Допуштени ниво буке за одређене делатности [19]

Врста делатности у условима изложености	Бука
	(dB)
Физички рад без захтева за менталним напрезањем	80
Физички рад усмерен на тачност и концентрацију	70
Рад који се обавља под честим говорним командама и сигнаlima	60
Рад претежно менталног карактера који захтева концентрацију	55
Ментални рад усмерен на контролу групе која обавља физички рад	50
Ментални рад усмерен на контролу групе која обавља ментални рад	45

Код већег интензитета буке од дозвољеног, а у оквиру радног времена, време излагања се знатно смањује, уз сталну примену заштитних средстава (табела 3).

Табела 3 - Дозвољено време излагања буци [19]

Време излагања буци у часовима (h)	Јачина буке у децибелима (dB)
6	90
4	95
2	100
1	105
0,5	110
0,25	115

После рада у бучној средини обавезан је одмор, који треба да буде двоструко дужи. У првом делу одмора долази до смањења слушног замора израженом у спуштању прага слуха, а у другом до потпуне релаксације и припреме за ново оптерећење. Уколико се слушни замор јави и после одмора, неопходно је променити радно место [12].

Колективне мере заштите, везују се за смањивање нивоа буке у околини у којој човек ради или на путу простирања звучних таласа (зидови и друге препреке у стамбеним зградама, школама, болницама). На ниво буке у индустрији, може се утицати до неке мере, а максимално до 10 dB одређеним апсорпционим мерама или елементима у виду азмафонских плоча, које се постављају на зидове или на посебне панеле и препреке у просторији (слика 23).



Слика 23 - Азмафонске плоче

4.1 Звучне баријере

Звучне баријере ефикасно и трајно смањују утицај буке који проузрокују саобраћај и индустрија и побољшавају квалитет боравка поред саобраћајница и индустријских погона.

Осим заштите од буке, звучне баријере ограничавају ширење прашине и смога узрокованих прометом или деловањем индустрије.

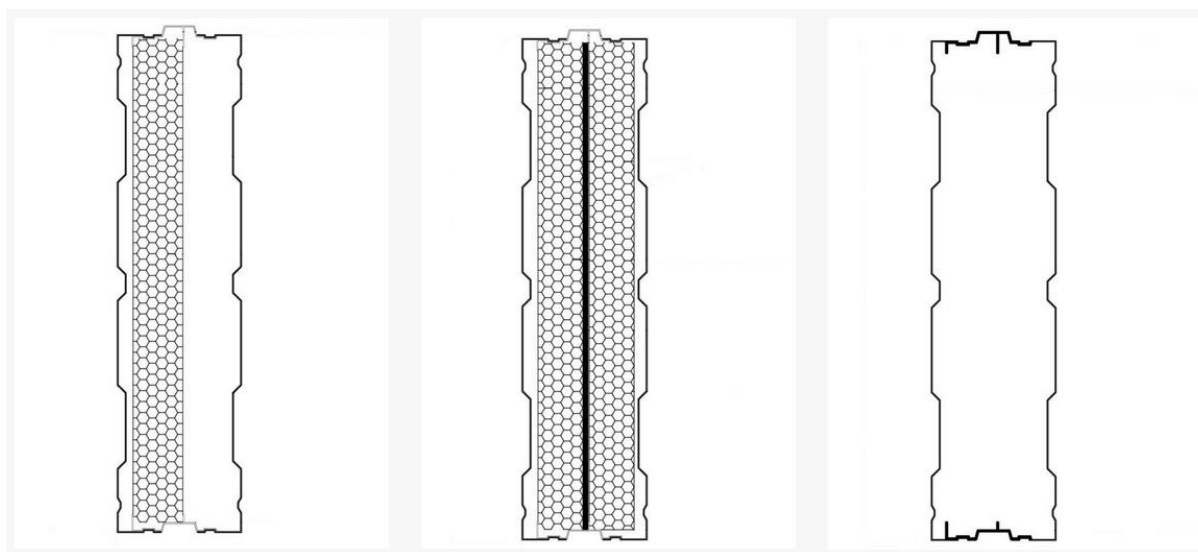
Врсте звучних баријера:

- алуминијумске,
- дрвене,
- транспарентне.
- **Алуминијумске** баријере обезбеђују високу звучну изолацију, апсорбујући део звука који производи саобраћај и индустрија. Израђене су од алуминијумских панела против буке и челичних стубова. Највише се користе за заштиту против буке становника који живе поред путева или уз железницу. Имају дуг животни век, док је њихова монтажа лака и једноставна (слика 24) [13].



Слика 24 - Алуминијумске баријере

Постоји више врста алуминијумских баријера, најчешћа подела се односи на то да ли су произведене од материјала који омогућава апсорпцију звука, или од материјала који само одбија звук. На слици 25 се види једнострани апсорпциони панел, двострани, као и панел који одбија звук.



Слика 25 - Различите врсте алуминијумских панела

- **Дрвене** звучне баријере (слика 26) обезбеђују високу звучну изолацију и апсорпцију буке. Направљени су од природних материјала, дубински импрегнираног дрвета четинара. Смањују утицај буке који производи саобраћај и штите становнике поред путева и железнице. Израђене су од дрвених панела и челичних носача.



Слика 26 - Дрвене звучне баријере

Састав дрвеног панела против буке приказан је на слици 27.



Слика 27 - Састав дрвеног панела

- **Транспарентне** звучне баријере обезбеђују високу изолацију од буке коју проузрокује саобраћај (слика 28). Израђене су од транспарентних панела против буке и челичних стубова. Могу се уграђивати самостално, а могу се и комбиновати са осталим панелима. У панеле су обично уграђене акрилне или поликарбонатне транспарентне испуне [13].



Слика 28 - Транспарентне баријере

4.2 PVC столарија

Живот у великом граду има своје предности и мане. Највећа мана је бука која долази са свих страна, било да је од саобраћаја, градилишта, комшилука, сирена, аларма итд. Најбоље решење тих проблема јесу прозори са добром звучном изолацијом, а PVC столарија предњачи у томе.

Код PVC столарије, било да је у питању нови објекат или замена старе столарије, битно је обратити пажњу на следеће:

- квалитет материјала,
- број комора у раму,
- дебљину зидова у раму,
- окове и дихтунге,
- врсту стакла,
- топлотну и звучну изолацију.

Сви PVC рамови производе се од исте врсте пластичне масе – поливинил хлорида, али се додају различити адитиви који побољшавају карактеристике материјала. Осим квалитета материјала, важан је и број комора који утиче на изолационе карактеристике и енергетску ефикасност. Некада су PVC прозори имали две коморе, данас је тај број

достигао 5 или више. Улога дихтунга на прозорима је заштита од уласка прашине, воде, ветра и буке. Најчешће се постављају два дихтунга. Ради боље енергетске ефикасности најчешће се стављају двострука или трострука стакла са већом ширином простора између стакла које је испуњено неким племенитим гасом или ваздухом. Пуњење племенитим гасовима побољшава изолацију [14].

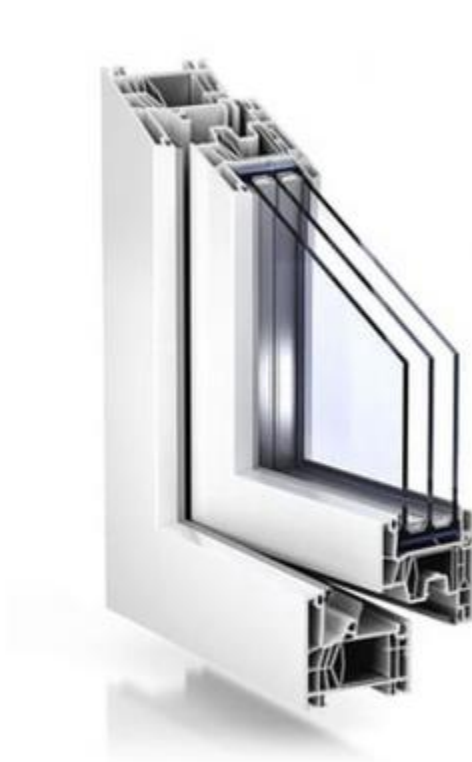
Звучна изолација се може додатно побољшати додавањем ламинираног стакла које се састоји из више слојева равног стакла између којих се поставља PVB фолија или прозирна смола. Оваква стакла додају неколико dB звучне изолације, а додатна предност је та да приликом пуцања стакла комади стакла се не распршују у простору него остају залепљени зафолију [15].

У табели 4 је приказан ниво звучне изолације у зависности од дебљине и врсте стакла:

Табела 4 – Ниво звучне изолације у зависности од дебљине и врсте стакла

Врста стакла	Дебљина стакла (mm)	Звучна изолација (dB)
Флоат стакло	4	29
Флоат стакло	6	31
Флоат стакло	10	33
IZO стакло 4+12+4	20	32
IZO стакло 6+12+6	24	33
IZO стакло 10+12+8	30	38
Ламинирано стакло 414	8-9	33

На слици 29 је приказан PVC рам са троструким стаклом.



Слика 29 - PVC рам са троструким стаклом

Енергетска ефикасност један је од савремених трендова који постају стандард у грађевинарству. Два основна разлога за то јесу:

- мањи утрошак енергије, значи мање рачуне,
- мање утрошене енергије значи и мање трошење природних ресурса.

Нажалост, још увек није довољна свест колико је еколошка компонента важна за будућност, за очување природе, планете и њених ресурса који нису бесконачни. Док траје процес развијања еколошке свести код људи, оно на шта већина људи ипак реагује јесте уштеда новца. Људи ће пре изабрати PVC столарију из економских, него из еколошких разлога. Ипак, приметан је помак у том правцу, уводе се грађевински стандарди, па се ускоро тај избор неће доводити у питање.

5. Комунална бука у Крагујевцу

5.1 Званични извештаји

У Крагујевцу се мерење буке врши периодично, добијени резултати шаљу се Агенцији за заштиту животне средине, а такође град их издаје у Еколошком билтену [16].

Одређивање вредности дневног и ноћног нивоа комуналне буке врши се према прописаној методологији. За мерење нивоа буке користи се прецизни импулсни мерач нивоа звука марке NORSONIC тип NOR 118. За једно - трећинску октавну анализу буке користи се филтер сет. Калибрација се врши пре и после самог мерења.

Пре одређивања нивоа комуналне буке, одређују се микроклиматски услови, који су од значаја за меродавност резултата: температура ваздуха, релативна влажност ваздуха, ваздушни притисак и брзина ветра добијају се од локалне хидрометеоролошке станице, која се налази у саставу Републичког хидрометеоролошког завода.

Мерење буке врши се на висини од 1,2 m до 1,5 m од површине терена, на удаљености од најмање 3,5 m од зидова објеката. Мерење буке у насељима врши се на 1 до 2 m од фасаде. Приликом мерења на отвореном простору одређује се и учесталост проласка лаких и тешких возила [17].

Као пример мерења комуналне буке у Крагујевцу, узети су узорци мерења буке из новембра месеца 2019. године на следећих шест локација (слика 30) [16]:

1. Центар града, раскрсница код Главне цркве, угао улице Краља Александра I Карађорђевића и улице Краља Петра,
2. Раскрсница Мала вага, мерно место на тргу “Мала вага”,
3. Илина вода, мерно место обданиште “Чуперак”,
4. Насеље Аеродром, мерно место код обданишта “Полетарац”,
5. КЦ Крагујевац, мерно место код споменика др Михајлу Илићу,
6. Велики парк, мерно место код Факултета инжењерских наука.



Слика 30 - Мапа Крагујевца са локацијама на којим је мерена бука

Измерена бука се потом класификује временски и фреквенцијски као што је приказано у табели 5.

Табела 5 – Временска и фреквенцијска класификација

Мерно место	Измерено дан/ноћ [dB]	Дозвољено дан/ноћ [dB]
1	64,2/63.8	65/55
2	65.7/64.2	65/55
3	57/57.5	55/45
4	51.5/41.8	55/45
5	54.4/46.2	50/40
6	57.6/45.2	50/45

За одређена мерна места, измерени нивои буке значајно прелазе дозвољни ниво, а тај тренд је значајно изражен ноћу. Доминантан извор буке на свим мерним местима представља саобраћај, док се такође јавља бука која допире од индустријских објеката, опреме за климатизацију, пролазника итд.

5.2 Мерење фреквенције саобраћаја

Задатак овог рада јесу експериментална мерења нивоа буке која ће се обављати уређајем марке ТЕСРЕЛ, а такође један од задатака је коришћење софтвера qGIS и његовог plug in-a opNoise којима ће бити процењени утицаји буке на зграде и куће које се налазе на обрађиваној локацији.

Подаци који су неопходни за симулацију нивоа буке у софтверу, а тичу се фреквенције саобраћаја, добијају се бројањем возила у саобраћају која пролазе кроз ову раскрсницу у 4 правца.

Део града у коме ће се вршити бројање саобраћаја и мерење буке јесте у насељу Ердоглија, на самој раскрсници, на углу Булевара Краљице Марије и Даничићеве улице (слика 31а и 31б). Овај део града познат је по веома прометном саобраћају, самим тим објекти који се налазе до ове велике саобраћајнице, која представља и транзитни пут, изложени су великом нивоу буке.



Слика 31а - Раскрсница, угао Даничићеве улице и Булевара Краљице Марије



Слика 316 - Раскрсница, угао Даничићеве улице и Булевар Краљице Марије

На слици 32 је приказана раскрсница на којој су обављена мерења, као и правци кретања возила, по чијем основу су бројана возила:



Слика 32 - Правци кретања возила на раскрсници

- правац 1: Булевар Краљице Марије, правац ТЦ “Плаза”- Велики парк,
- правац 2: Булевар Краљице Марије, правац Велики парк - ТЦ “Плаза”,
- правац 3: Даничићева улица, правац солитер У – Гимназија,

- правац 4: Даничићева улица, правац Гимназија - солитер Y.

Бројање возила на датој раскрсници вршено је у периоду од 7 - 8 часова, и у периоду од 15 - 16 часова. У категорију лаких возила спадају сва возила носивости до 3,5 тоне, а у категорију тешких возила спадају она возила чија носивост прелази 3,5 тона.

У периоду од 7 до 8 часова из следећих праваца приступило је:

- правац 1: **1103** лаких возила и **36** тешких возила,
- правац 2: **850** лаких и **57** тешких возила,
- правац 3: **537** лаких и једно тешко возило,
- правац 4: **369** лаких и **5** тешких возила.

Сабирањем датих података долази се до бројке од **2859** лаких и **99** тешких возила.

У периоду од 15 до 16 часова из следећих праваца приступило је:

- правац 1: **822** лаких возила и **46** тешких возила,
- правац 2: **1213** лаких и **48** тешких возила,
- правац 3: **477** лаких и **6** тешких возила,
- правац 4: **372** лаких возила и **6** тешких возила.

Сабирањем датих података долази се до бројке од **2884** лаких и **106** тешких возила. На слици 33 види се један од испуњених извештаја о броју возила и називу правца кретања.

Правац: ТЦ "Плаза" - Парк	Лака возила до 3.5 тона	Тешка возила преко 3.5 тона
15'	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXX	✓✓✓✓✓✓✓✓ ✓✓✓✓
30'	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX XXXXXXXXXXXX	✓✓✓✓✓ ✓✓✓

Слика 33 – Приказ броја возила и правца кретања у два интервала

На слици 34 види се гужва на семафору из правца Великог парка, током саобраћајног шпица између 15 и 16 часова.



Слика 34 – Гужва на семафору из правца Великог парка

5.3 Мерење комуналне буке на терену

Практични део овог дипломског рада јесте мерење нивоа звучног притиска до саобраћајница, иза и унутар објеката који се налазе до њих.

Места са којих је мерена бука приказана су црвеним тачкама на мапи (слика 35).



Слика 35 - Места са којих је мерена бука

Бука је мерена на локацији испред стамбених зграда код саме раскрснице (слике 36а и 36б), у становима зграде која се налази на самој раскрсници, на улици испред вртића и унутар дворишта вртића.

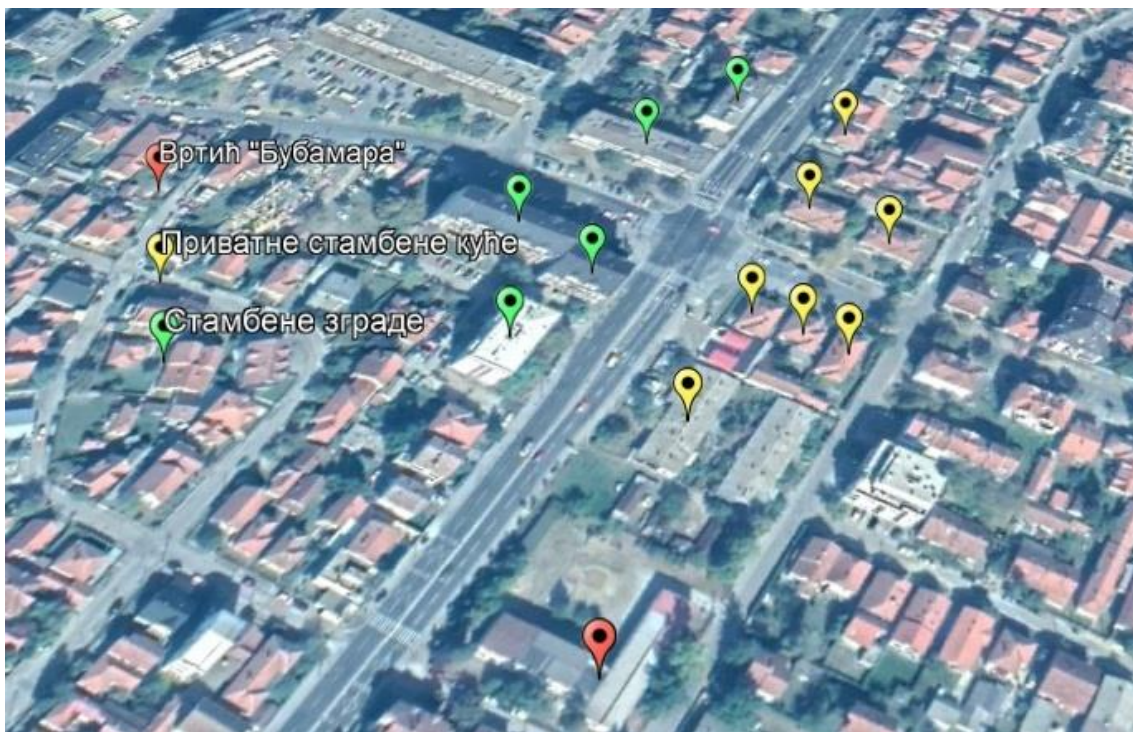


Слика 36а – Мерење буке на терену



Слика 36б – Локација мерења бука означена црвеном тачком

На слици 37 су приказане намене објеката који се налазе на највећем удару буке.



Слика 37 - Намене објеката на раскрсници

Мерења су се вршила у јутарњим часовима између 7 - 8 часова, као и у поподневним часовима између 15 - 16 часова. Управо у тим терминима је највећи саобраћајни шпиц. Бука је мерена уређајем марке ТЕСРЕЛ, што се може видети на раније приказаној слици 36.

Свако мерење је вршено у трајању од 10 минута.

Резултати мерења:

- мерно место на раскрсници у јутарњим и поподневним часовима : **88dB / 83 dB**,
- мерно место испред вртића у јутарњим и поподневним часовима: **90dB / 87 dB**,
- мерно место унутар дворишта вртића: **72dB / 70 dB**,
- мерно место унутар стана зграде до раскрснице: **55 dB / 50 dB**.

5.4 Симулација у софтверу qGIS

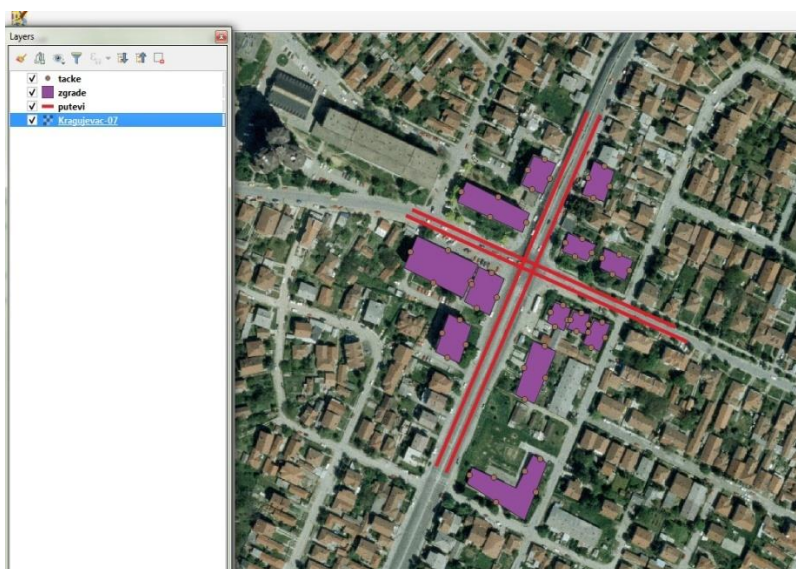
Подаци о фреквенцији саобраћаја на самој раскрсници обрађују се уз помоћ софтвера qGIS и упоређују са резултатима мерења буке са саме локације.

Софтвер qGIS је у овом раду коришћен за прорачун нивоа буке која потиче од саобраћаја. За симулацију буке у саобраћају неопходне су информације о емитерима буке, а у овом случају је то саобраћај, односно подаци о:

- фреквенцији саобраћаја,
- типу возила који је заступљен,
- просечној брзини,
- врсти подлоге,
- динамици саобраћаја.

Употреба qGis plug in-a openNoise, којим се може израчунати ниво буке у одређеним тачкама које се налазе у зони утицаја буке од саобраћаја, подразумева доступност података о саобраћају који су добијени у претходним мерењима [19].

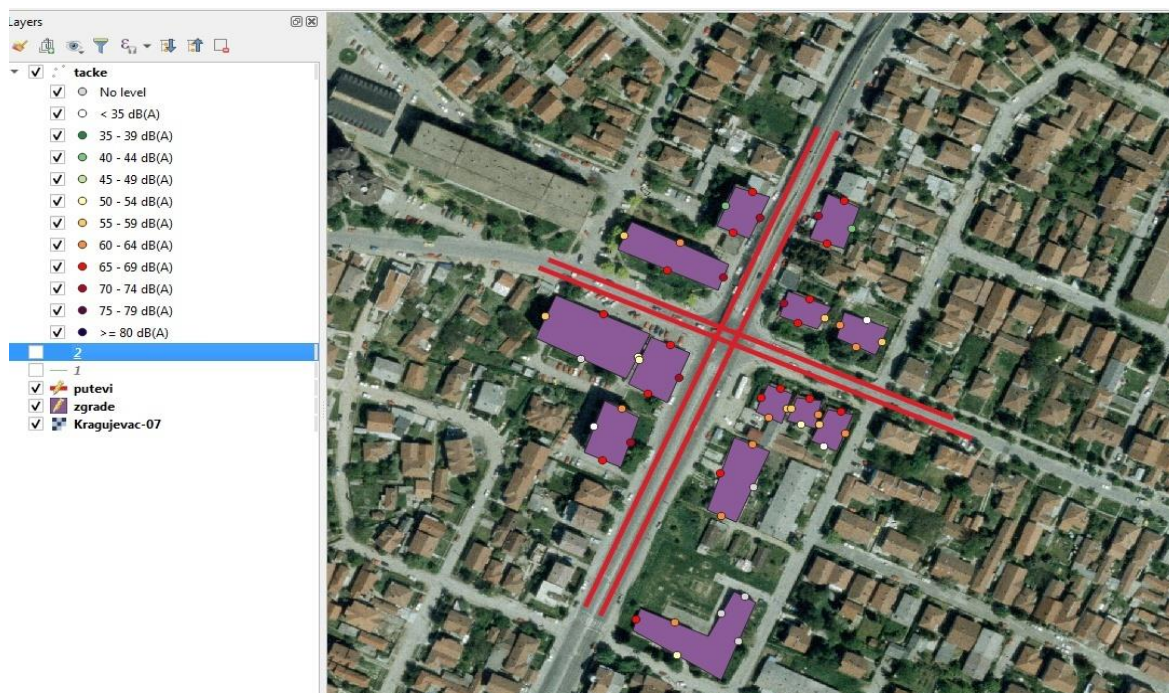
Након стартовања програма, дефинисан је координатни систем **Balkans zone** формирањем новог лејера **Kragujevac**. Након лејера **Kragujevac**, формирају се нови лејери који ће бити везани за задатак овог рада, и који ће бити дефинисани у истом координатном систему **Balkans zone**. Први лејер **Зграде** дефинисан је као полигон и означава зграде које су анализиране у раду. Други лејер је лејер **Путеви** који је дефинисан као линијски лејер и означава саобраћајнице. Током креирања овог лејера у табели атрибута уносе се подаци о фреквенцији саобраћаја који су добијени бројањем на терену. Поред података о фреквенцији саобраћаја уносе се и подаци о нагибу саобраћајнице, подлози и просечној брзини кретања возила. На слици 38 је приказан изглед мапе са унетим лејерима.



Слика 38 - qGIS софтвер са унетом мапом Крагујевца и лејерима

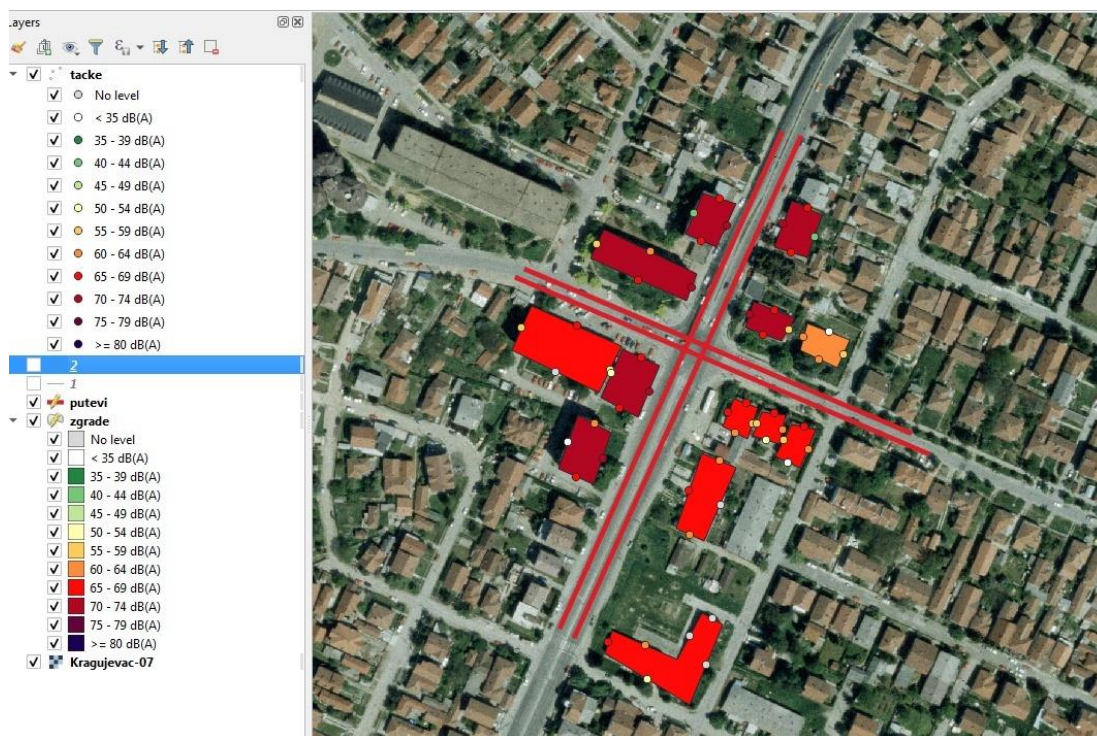
На овој слици такође су приказане тачке на фасадама објеката за које софтвер израчунава нивое буке. Ове тачке креирају се у оквиру лејера **Тачке**, а који се креира након покретања plug in-а oreNoise. Тачке се креирају у правцу средине фасаде објеката, на 0,1 метар од фасаде, кликом на **Create receiver points**.

Наредна опција коју нуди Plug in јесте израчунавање нивоа буке која настаје од саобраћаја или других извора. Како се на овој раскрсници истиче саобраћај као највећи извор буке биће изабрана опција **Road source** коју нуди овај програм. Након опције која је изабрана, уносе се конкретни подаци којису раније унети у табелу атрибута код лејера **Путеви**. Прорачун се врши одвојено, један за податке из преподневних часова, један за податке из поподневних часова. На слици 39 се виде тачке на фасадама промењених боја у односу на претходну слику, али у складу са претходним текстом, боја је промењена тако да осликава ниво буке у тачкама. У табели поред саме мапе види се ниво буке по бојама изражен у децибелима.



Слика 39 - qGIS софтвер са унетим референтним тачкама на фасадама објеката

Такође једна од опција овог Plug in-а јесте додељивање и нивоа бучности, по коме се зграде и куће могу поделити по нивоу буке којем су изложене (слика 40).



Слика 40 - qGIS софтвер са додељеним нивоом бучности објеката

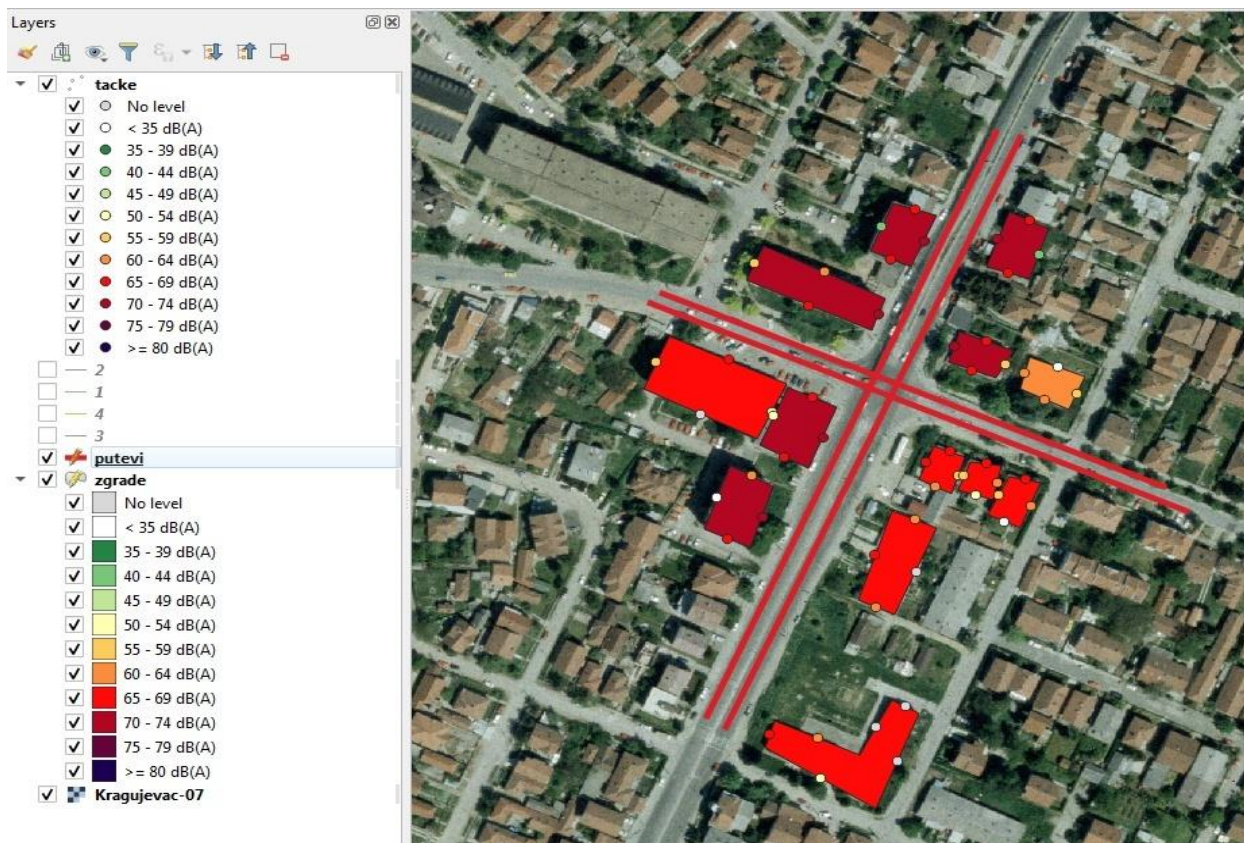
На претходним сликама, види се да је софтвер израчунао да је највећи ниво буке на тачкама фасада зграда и кућа које се налазе на самој раскрсници, такође и ниво бучности тих објеката је на највећем нивоу.

Софтвер је израчунао да је ниво буке на фасади зграде на самој раскрсници између 70 – 74 dB, такође ова зграда је и једна од најугроженијих по нивоу бучности. Управо испред ове зграде је измерена бука од 83 dB у поподневним часовима. Упоређивањем добијених вредности, закључује се да је измерени ниво буке знатно већи него ниво буке који је добијен прорачуном софтвера qGIS.

Ниво буке на улици испред вртића у поподневним часовима добијен симулацијом у софтверу је између 65 и 69 dB, док је зграда у истом нивоу бучности, међутим подаци са терена говоре да је бука знатно већа. Наиме измерена буке по претходним подацима је 87 dB.

По законској регулативи бука у овим објектима не би смела да прелази 50 dB, нажалост они спадају у објекте највеће угрожености због своје локације, а која се налази на једној од најпрометнијих саобраћајница у граду.

На слици 41 приказана је мапа на којој су унети лејери као на претходним сликама, али период за који софтвер обрачунава ниво буке јесте преподневни између 7 и 8 часова.



Слика 41 - qGIS софтвер мапа Крагујевца са унетим подацима за преподневни период и додељеним нивоом бучности

У табели атрибута лејера путеви унети су улазни подаци везани за саобраћај за период између 7 – 8 часова, мада се по резултатима софтвера види да се ниво буке није променио. Овакви подаци софтвера произилазе из тога што фреквенција саобраћаја није значајно променила у односу на поподневне сате. Број лаких и тешких возила је незнатно другачији.

6. Смањење нивоа буке на анализираној локацији кроз имплементацију одговарајућих мера

Предметно истраживање овог рада заснива се на мерењу комуналне буке на локацији која се налази на територији града Крагујевца. Анализирану локацију која се налази у насељу Ердоглија карактерише интензиван друмски саобраћај кроз раскрсницу две градске саобраћајнице (Булевар Краљице Марије и Даничићева улица) током читавог дана, при чему се у непосредној околини налазе стамбени објекти велике густине становања, пословни објекти али и образовне институције.

Судећи по резултатима који су добијени уз помоћ софтвера qGis али и резултатима мерења са терена, закључује се да су објекти који се налазе уз саобраћајницу на анализираној локацији веома угрожени зато што ниво буке прелази граничне вредности које су регулисане законом, те је из тог разлога потребно дати предлоге за смањење нивоа буке на анализираној локацији кроз имплементацију одређених мера.

Прва фаза у процесу јесте дефинисање циља. У овом случају, циљ је смањење нивоа буке до вредности које су у складу са законском регулативом.

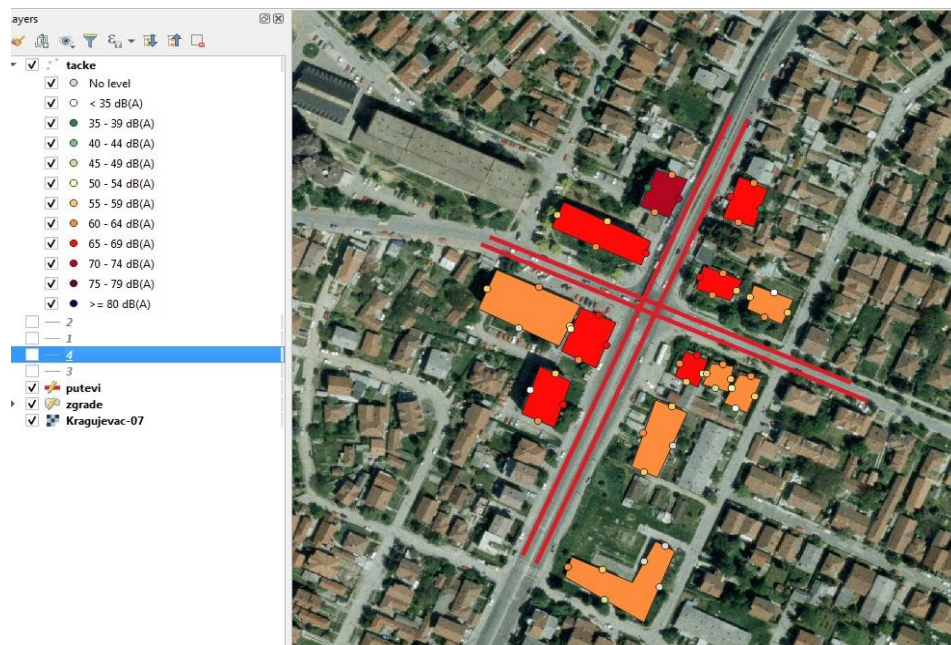
Постоји низ предлога за смањење нивоа буке на овим анализираној локацији, а неки од њих су:

- изградња обилазнице,
- постављање звучних баријера дуж саобраћајница,
- постављање PVC столарије на стамбене објекте, која ће имати улогу звучне баријере.

Предложене мере за смањење нивоа буке на анализираној локацији ће бити тестиране уз помоћ софтвера qGIS, а у циљу приказа резултата који би се остварили имплементацијом наведених мера, као и мерењима на терену.

6.1 Смањење нивоа буке изградњом градске обилазнице

Као што је раније поменуто, анализирана саобраћајница представља и транзитни пут кроз Крагујевац, где пролази велики број лаких и тешких возила, а управо та возила представљају велики извор буке. Уколико би се изградњом обилазнице, број лаких возила који пролазе правцима 1 и 2 смањио за 50 %, а број тешких возила смањио са 100 на само 5 који прођу кроз раскрсницу, резултат би био као на сликама 42а и 42б.



Слика 42а - qGIS софтвер са унетим подацима са смањеним бројем тешких возила

На слици 42а приказан је резултат одређивања нивоа буке у анализираном делу града помоћу софтвера qGis. Сценарио на слици 42а је могућ уколико би се усвојио предлог смањења броја тешких возила. На слици се види да је ниво бучности свих зграда опао за по један ниво, као и ниво буке на тачкама које се налазе на фасадама објеката на самој раскрсници.

Вредности које се добијају су значајно ниже од претходних, што потврђује неопходност изградње обилазнице. Боја тачки на фасади зграде на самој раскрсници досеже интервал између 65 – 69 dB што значи да је ниво звучног притиска два пута мањи. Управо ту се може видети значај ове мере за смањење буке. Такође зграда обданишта добила је нови ниво бучности који је сада доста ближи законској регулативи и више није у црвеном нивоу.

На слици 42а се такође може уочити да су зграде и куће на самој раскрсници и даље обојене црвеном бојом, што значи да су у великом нивоу бучности и да ова редукција саобраћаја није довољна за смањење буке на тим локацијама.

На слици 42б приказани су резултати нивоа буке у анализираном подручју. У овом случају, приликом одређивања нивоа буке, усвојени су подаци са додатним смањењем, где се умањује и број лаких возила за 50% на већ унете податке за смањени број тешких возила. Наиме, ниво бучности на појединим објектима до саме раскрснице се још више смањено па из бордо боје прелази у црвену, тј. из црвене у наранџасту боју, која означава још мањи ниво бучности. Такође и тачке на фасадама појединих објеката прелазе из црвеног нивоа у наранџасту, тј. са нивоа буке између 65 и 69 dB, на ниво буке између 60 и 64 dB.



Слика 426 - qGIS софтвер са унетим подацима са смањењем броја лаких и тешких возила

6.2 Смањење нивоа буке постављањем звучних баријера дуж саобраћајница

Следећи предлог за смањење буке јесте увођење звучних баријера дуж саобраћајница. Конкретан пример са терена који је узет у разматрање јесте звучна баријера испред вртића, а до Булевару Краљице Марије (слика 43).



Слика 43 - Локација вртића и места са којег је мерена бука

Пре 5 година направљена је звучна баријера испред самог вртића ради заштите од огромне буке која је допирала до вртића. На слици 34 се види мерно место 1 са које је мерена бука испред вртића и мерно место 2 где је бука мерена унутар дворишта вртића, а иза саме баријере.



Слика 44 - Мерна места са којег је мерена бука

На мерном месту 1 (слика 44) измерена бука у јутарњим часовима је 90 dB, а у после подневним часовима 87 dB. Као резултат имплементације звучне баријере, ниво буке унутар дворишта на мерном месту 2, у пре подневним часовима је 72 dB, док је у после подневним часовима 70 dB. Овим мерењима закључује се да је смањење унутар дворишта доста велико, али и даље је ниво виши од законски прописаног. Уз регулацију саобраћаја, овакав вид смањења нивоа буке био би од великог значаја.

Врста панела која се налази на локацији где је мерена бука представља алуминијумске звучне панеле са двоструким апсорпционим материјалом. На основу мерења и резултата који су добијени на терену, оваква врста заштите представља одлично решење.

6.3 Смањење нивоа буке у затвореном простору коришћењем PVC столарије

Осим мерења буке на самим саобраћајницама, овим дипломским радом обухваћено је и мерење буке у самим становима објекта који се налазе на самој раскрсници која је предмет проучавања. Конкретно, бука је мерена у стану који се налази у згради испред које је било мерно место нивоа буке, а која се налази на самом углу Булевара Краљице Марије и Даничићеве улице (слика 45).



Слика 45 - Зграда и мерна места буке

На слици 45 је бројем 1 означено мерно место на самој саобраћајници где је мерена бука, док је бројем 2 означена локација стана где је мерена бука.

По правилнику о дозвољеном нивоу буке у животној средини, дозвољени ниво буке у dB у стамбеној згради (боравишне просторије) при затвореним прозорима:

- Из извора буке изван зграде дан / ноћ : 40dB / 35 dB [15].

Мерењима са терена још раније је утврђено да је ниво буке испред зграде до саобраћајнице 88 dB у јутарњим часовима док је у поподневним часовима 83 dB. Измерени ниво буке у стану предметне зграде измерен у периоду од 7 – 8 часова био је 55 dB, док је у периоду између 15 – 16 часова био 50 dB. Овакви резултати указују на то да је ниво буке у стану зграде на самој раскрсници доста изнад законски прописаног норматива.

Оваквом нивоу буке у стану значајно доприноси и стара дрвена столарија, која није мењана од изградње зграде (слика 46).



Слика 46 – Изглед дрвене столарије предметног стана

Као решење проблема буке у становима која је проузрокована саобраћајем издваја се уградња енергетски ефикасније али и боље звучно изоловане столарије.

Конкретни примери са терена јесу мерења из предметног стана, који у једној соби има уграђену PVC столарија, која не само да је енергетски ефикаснија, већ је велики изолатор буке (слика 47).



Слика 47 – Изглед PVC столарије предметног стана

Резултати добијени мерењем буке у таквој просторији то и показују. Наиме, ниво буке у просторији где се налази дрвена столарија био је од 50 до 55 dB. У соби са PVC столаријом ти резултати су: 42 dB у периоду између 7 – 8 часова, и 39 dB између 15 - 16 часова што значајно приближава ниво буке законском нормативу. Такође смањењу нивоа буке доприноси и то што је уместо стаклених врата уграђен прозор и дозидан део који је остао празан. Уз већ раније предложену корекцију саобраћаја овај ниво буке био би још мањи.

7. Закључак

Бука и заштита од буке су један од актуелних еколошких проблема насталих из савременог начина живота, те се на глобалном нивоу не може тачно проценити утицај буке, као ни њене последице на животну средину. Једноставно, бука је по природи саставни део живота и део је човековог окружења, и због тога што се јавља као пратилац многих животних активности, присутна је у свим сферама живота.

Дипломски рад је заснован на опису дејства буке на животну средину и самог човека, а у циљу подсећања на велику важност контроле и заштите од тог дејства. У раду су се вршила мерења нивоа буке на два начина: коришћењем уређаја марке TECPEL, обављена су мерења нивоа буке на терену, док су прорачуни утицаја буке на објекте, добијени коришћењем софтвера qGIS. Утицаји буке прорачунавани су за објекте који се налазе у близини једне од најпрометнијих раскрсница у граду. Подаци који су неопходни за симулацију нивоа буке у софтверу, а тичу се фреквенције саобраћаја, добијају се бројањем возила у саобраћају која пролазе кроз ову раскрсницу у 4 правца. Овакво бројање, одвија се у два периода, и то између 7 и 8 часова ујутру, и у после подневним часовима између 15 и 16 часова. Управо та два периода представљају периоде када је та раскрсница најоптерећенија. Експерименталним мерењима показано је да су резултати који су добијени путем софтвера qGIS знатно мањи од резултата добијеним коришћењем уређаја за мерење нивоа буке марке TECPEL. Наиме, софтвером qGIS прорачунат је ниво буке, који делује на зграде која се налази на самој раскрсници, а који је између 70 и 74 dB, док је ниво буке на самој раскрсници измерен уређајем од 83 до 88 dB у зависности од периода мерења. Оваква експериментална мерења показала су да је ниво буке на тој локацији знатно већи од законски дозвољеног.

Након мерења нивоа буке на терену, и анализе добијених резултата у софтверу qGIS, предложене су мере за смањење буке на анализираној локацији. Прва предложена општа мера, је изградња обилазнице око Крагујевца која би смањила број тешких возила која пролазе кроз раскрсницу, а уједно би и значајно помогла код смањења нивоа буке ако би у обзир дошле остале предложене мере. Први конкретан анализиран предлог је постављање звучних баријера дуж саобраћајнице, а као пример је узета звучна баријера вртића који се налази на тој саобраћајници. Употребом ове баријере, приказано је да је ниво буке у дворишту вртића значајно смањен. Бука изван дворишта вртића је у опсегу од 88 до 90 dB док је унутар дворишта вртића, захваљујући звучној баријери, али и удаљености дворишта од пута, у опсегу од 70 до 72 dB. Други анализирани предлог мера јесте уградња PVC столарије у станове који су најизложенији буци која долази од саобраћаја са саме раскрснице. Експерименталним мерењима у становима са старом столаријом, бука прелази законски опсег и износи између 50 и 55 dB, са уградњом ефикасне столарије тај опсег се смањује и бива између 39 и 42dB зависно од периода мерења, колико је измерено у стану са таквом столаријом.

Превенција и информисаност о ризику који висок ниво буке ствара, најважнији су фактори који могу помоћи код негативних последица буке по људско здравље. Такође, битно је увођење мера против буке. Најбитније је уклопити стандарде буке са техничким решењима нових машина, возила, као и материјала. Зато је битно да се код производње истих још више води рачуна о нивоу буке коју ће они својим деловањем емитовати.

8. Литература

- [1] Шолаја Владимир, “Заштита од буке и вибрација у животној и радној средини”. Зборник саопштења југословенских саветовања, Универзитет у Београду, 1982.
- [2] Шаш Елвира, “Заштита од комуналне буке”, Природно – математички факултет, Универзитет у Новом Саду, дипломски рад, 2007.
- [3] Вуковић Марија, “Мониторинг буке у животној средини на примеру града Крагујевца”, Универзитет у Крагујевцу, дипломски рад, 2017.
- [4] Физика за сваког по нешто, Интернет страница, <http://fizis.rs/>, приступљено: 09.01.2020.
- [5] Величковић Драган, “Физичке штетности, бука и вибрације”, Ниш, 1978.
- [6] Георгијевић, Вељко, “Бука, основи, анализа, извори и заштита”, Београд, 1998.
- [7] Величковић Драган, “Бука у животној средини”, Ниш, 1999.
- [8] Петровић З., Пљакић М., Радичевић Б., Бјелић М., “Пројектовање заштите од буке индустријских постројења”, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљево, Универзитет у Крагујевцу, Краљево, 2013.
- [9] Мерни инструменти, Интернет страница, https://www.merniinstrumenti.com/Merenje_buke-36-1, приступљено: 21.01.2020.
- [10] Правилник о методама мерења буке, садржини и обиму извештаја о мерењу буке (Сл. гласник РС, 72/2010).
- [11] Белић Ч., Биочанин И., Папић Х., “Бука као физички загађивач и поремећај радне и животне средине”, Бања Лука, 2009.
- [12] Узуновић Ратко, “Заштита од буке и вибрација: менаџмент квалитетом и околином”, Београд, 1997.
- [13] Ђукановић М., “Животна средина и одрживи развој”, Београд, 1996.
- [14] Multivario, Интернет страница, <https://www.multivario.rs/>, приступљено: 11.02.2020.
- [15] PVC столарија, Интернет страница, <https://pvcstolarija.blogspot.com/>, приступљено: 16.02.2020.
- [16] Trocal 76, Интернет страница, <https://www.grasing.com/>, приступљено: 16.02.2020.
- [17] Град Крагујевац, Интернет страница, <https://www.kragujevac.rs/>, приступљено: 02.02.2020.

[18] Агенција за заштиту животне средине, Интернет страница, <http://www.sepa.gov.rs/>.
Пристапљено: 02.02.2020.

[19] Правилник о дозвољеном нивоу буке у животној средини (Сл. гласник РС, 53/1992).

[20] QuantumGIS, Интернет страница, <https://www.qgis.org/en/site/>, пристапљено:
10.02.2020.

[21] David A. Bies, Colin H. Hansen, “*Engineering Noise Control: Theory and Practises, Fourth Edition*”, London and New York, 2009.

[22] Enda Murphy, Eoin King, “*Envornmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health and Policy*”, Dublin and Hartford, 2014.