

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Марија С. Вуковић

**Мониторинг буке у животној средини на примеру
града Крагујевца**

дипломски рад

Крагујевац, 2017.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Урбано инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Предмет: Мониторинг параметара животне средине

Број индекса: 917/2013

Марија С. Вуковић

**Мониторинг буке у животној средини на примеру града
Крагујевца**

дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. др Горан Бошковић, ментор**
- 2. др Небојша Јовичић**
- 3. др Марко Ђапан**

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, извори звука)
3. Бука (типови буке, мерење буке и инструменти за мерење буке, методе и критеријуми за одређивање еквивалентног нивоа, утицај на људско здравље (психолошки ефекти, промене у понашању)), бука у животној средини (саобраћај, индустрија)
4. Заштита од буке (основни принципи заштите од буке, индивидуалне и колективне мере заштите, баријере, тунели и појасеви за заштиту од буке), звучна изолација, заштита од буке у ЕУ и РС
5. Комунална бука у Крагујевцу (званични извештаји, мерење комуналне буке на локацијама које се прате у извештајима, мапа буке у изабраној зони града Крагујевца)
6. Закључак

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 Practise, 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, 01.07.2017. године

Ментор:
Др Горан Бошковић, доцент

Summary:

This work is composed of two sections. The first section deals with the theory behind the physical characteristics and parameters of sound, the perception of sound, environmental noise and its effects on the population, as well as the basic methods of noise control. It also briefly analyses the noise suppression and control-related legislation of the Republic of Serbia and the European Union. The second, experimental section contains an analysis of performed field measurements of noise, and ideas regarding the improvement of present conditions. The qGIS software was employed to graphically represent the measurement results and the effects of the measured traffic noise levels on neighboring objects in the morning and afternoon hours, focussing specifically on a major traffic juncture in the city. In conclusion, it is stated that a large number of public and residential objects are adversely affected by overcrowded traffic, and that measures such as limiting access to the urban core for cargo vehicles and building a bypass road are required to reduce traffic congestion

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

Резиме:

Овај рад се може поделити на две целине. У првом, теоријском делу се говори о карактеристикама и физичким параметрима звука, о перцепцији звука, потом о комуналној буци, њеном утицају на људе и о основним методама контроле буке. Рад садржи и кратак осврт на законске регулативе везане за превенцију и контролу буке Републике Србије и Европске Уније. Други, експериментални део подразумева анализу извршеног теренског мерења нивоа звука, као и предлагање мера унапређења постојећег стања. Коришћењем софтвера qGIS графички су приказани резултати мерења и утицаја измерене саобраћајне буке на суседне објекте, у преподневним и поподневним часовима, са посебним фокусом на једну важну градску раскрсницу. Закључено је да је велики број јавних и резиденцијалних објеката угрожен и да је нужно растерећење саобраћаја, посебно ограничавање приступа тешких возила градском језгру, што се може обезбедити изградњом обилазнице.

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

Садржај

1. Увод.....	5
2. Звук.....	6
2.1. Карактеристике звука	6
2.2. Физички параметри звука	7
2.3. Перцепција звука	8
3. Бука	11
3.1. Утицај буке на људе	11
3.2. Врсте буке.....	12
3.3. Комунална бука.....	14
3.4. Бука од саобраћаја.....	14
4. Контрола буке	17
4.1. Контрола буке у Републици Србији.....	19
4.2. Мерење буке у Републици Србији	20
4.3. Индикатори буке	21
4.4. Одређивање акустичких зона.....	23
4.5. Стратешка карта.....	24
4.6. Мерач нивоа звучног притиска.....	25
4.7. Директива Европске Уније о заштити од буке.....	28
5. Мерење буке у Крагујевцу	30
5.2. Званични извештаји Службе за заштиту животне средине.....	30
5.3. Мерење буке на одабраним локацијама у граду Крагујевцу	31
5.4. Обрада података о фреквенцији саобраћаја	33
5.5. Обрада података у софтверу qGIS	35
6. Закључак	44

1. Увод

Бука, као облик загађивања животне средине, стара је колико и сама цивилизација. Нико на планети Земљи не може побећи од нежељеног звука, који претендује да постане највећа претња квалитету живота савременог човека. Мир у урбаним срединама је можда и заувек уништен, најпре моторима са унутрашњим сагоревањем, а потом и уређајима који су део свакодневице. Позната је чињеница да је бука, поред светлости, највећи не-физички полутант планете.

За савременог човека, изложеност буци не престаје током целог дана: почиње на радном месту, наставља се на градским улицама, а каткад не престаје ни одласком на починак. Полако, неосетно, бука је наизглед прихваћена – као и физичка и психолошка деградација која је прати – као део свакодневног живота модерног човека. Иако се ради на постављању стандарда за неке од најзначајнијих извора буке – авион који полеће и слеће или пруга која пролази одмах поред насеља – често се не успева у адекватној и потпуној контроли ових полутаната.

Овај проблем не зна за политичке или социјалне границе. Ово је проблем светских размера, који погађа и Сједињене америчке државе, западну Европу, Јапан и тд, а представља цену модерног индустријског напретка. Погађа богате који живе у предграђима, а користе аутомобиле да стигну до центра, у истој мери у којој погађа и оне нижег социјалног слоја, који живе у насељима до ауто-пута, или у близини аеродрома.

Бука је специфичан полутант, јер је њено дејство тренутно, делује само док траје емисија и не манифестује се кроз закаснеле реакције, попут загађивања воде или ваздуха. Међутим, она се пролазно или трајно одражава на психичко и физичко стање човека, у негативном смислу, при том се негативни ефекти јављају и при изложености буци мањег интензитета.

Саобраћај представља најзначајнији извор буке данашњице, што чини градске средине најугроженијим. Како ниво буке значајно опада са удаљењем од извора, густо збијене улице, раздвојене блоковима резиденцијалних зграда или породичним кућама, које се налазе одмах до саобраћајница, чине живот станара изложеним негативном утицају буке. Поред саобраћаја, индустријска бука умногме доприноси оптерећењу урбаних простора. Замена људског рада радом машина, чија је снага неисцрпна, а радно време флексибилно, чини индустријску буку великим загађивачем животне средине. Са повећањем људског стандарда и куповне моћи, настаје простор за појаву нових извора буке, који додатно оптерећују животну средину. Поред урбаних средина, бука машина сада значајније утиче на сеоско домаћинство, увођењем пољопривредне механизације и модернизацијом домаћинства. Поред оних који долазе споља, нужно је поменути да многе емитере буке, попут разних кућних апарата, човек свесно уноси у свој дом, ради комфора.

Значајне потешкоће, социјалне и технолошке природе, морају бити превазиђене како би се вршила одговарајућа контрола буке и повратио квалитет живота којем технолошки успех и економски прогрес, иронично, прете.

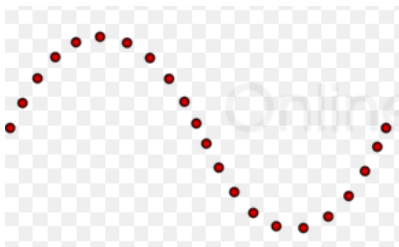
2. Звук

Како би се приступило буци са аспекта превенције и контроле нежељеног звука, нужно је првенствено изучити физичка својства звука. Бука је *осцилаторни* процес. Представља механичке осцилације честица неког еластичног медијума које се кроз њега крећу као талас.

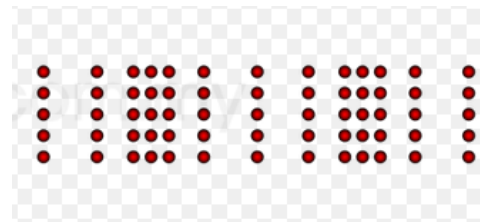
Разликују се две врсте таласа:

- трансверзални
- лонгитудинални

У чврстим срединама могуће је ширење *трансверзалних* (Слика 1) и *лонгитудиналних* таласа (Слика 2), док се кроз флуиде могу ширити само лонгитудинални таласи.



Слика 1 – трансверзални талас [1]



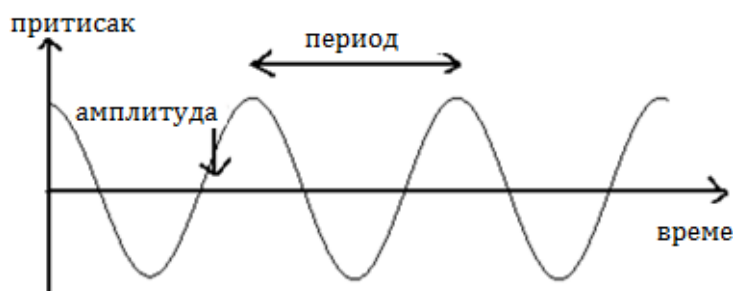
Слика 2 – лонгитудинални талас [1]

2.1. Карактеристике звука

Звук је одређен као механички талас, помоћу две физичке величине, *фреквенцијом* и *таласном дужином*.

Фреквенција звука се изражава у херцима (Hz), представља периодичност вибрације и означава се са f . Човек може рецептовати звук фреквенције од 16 до 20 000 Hz (20 kHz), док се звук нижи од 16 Hz назива инфразвук, а звук изнад овог опсега ултразвук.

Таласна дужина је најкраћа удаљеност између две честице које су у истој фази осциловања. Другачије речено, то је размак између две највише тачке на суседним амплитудама звучног таласа. Када талас прелази из једне средине у другу, међусобно различитих густина, брзина и таласна дужина му се мењају, док фреквенција остаје иста, јер је она својство извора таласа.

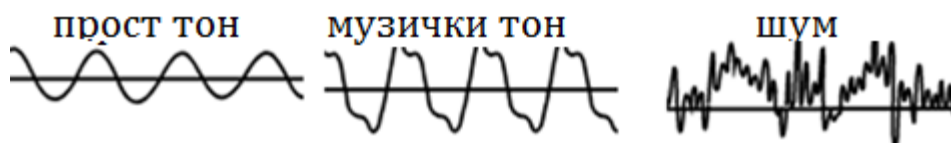


Слика 3 – звучни талас [1]

Када знамо *брзину звука* (V) и његову *фреквенцију* (ν) може се израчунати и његова *таласна дужина* (λ) - растојање од једног врха амплитуде до другог.

$$\lambda = V / \nu$$

Зависно од правилности осцилација и променљивости фреквенције, звук се може поделити на шум и тон. Шум настаје неправилним осциловањем звучног извора при чему је фреквенција стална. Тон је звук који има само једну фреквенцију.



Слика 4 – звучни талас за прост тон, музички тон и шум [2]

Постоји прост и сложен звук. Прост звук се састоји од једне компоненте, док се сложени састоји од више компонената, које могу бити јасно дефинисане. Ипак, звук може садржати и све, континуално заступљене фреквенције. Управо се ова врста, која се назива шум, среће на улицама и представља буку животне средине.

2.2. Физички параметри звука

Под дејством звука, честице медијума (који може бити у сва три агрегатна стања) осцилују око свог равнотежног положаја, стварајући натпритисак у односу на свој равнотежни положај. Промене атмосферског притиска називају се *звучни притисак*, који има веома мале вредности у поређењу са атмосферским.

Појаву звука, односно осцилације честица, могуће је пратити као промену притиска p , односно промену густине ваздуха ρ , те добијене резултате можемо корисити да изучавања на пољу акустике – науке која изучава кретање таласа (*вибрације, звука, инфразвука и ултразвука*) кроз различите медијуме. Звук се не простире кроз вакуум.

За људе, звук има две карактеристике: *висина* и *гласноћа*. Висина тона, односно перцепција о томе да ли је тон висок, или дубок, зависи од међусобне близине звучних таласа. Код ниских тонова, ови таласи су релативно далеко један од другог, док су код високих тонова ови таласи збијени један уз други. Гласноћа представља интензитет таласа, комбинован са људском чулном перцепцијом. Док висина тона може само проузроковати нелагодност, прекомерна гласноћа може утицати на слух.

Интензитет звучног таласа се може упоредити са висином таласа у океану. Овај интензитет представља јачину којом талас удара у неки предмет, а може се прецизно измерити инструментима. Ипак, гласноћа коју људско ухо перцепира је различита од измерених, физичких вредности.

Звучни талас се кроз различите средине креће различитим брзинама, кроз ваздух се овај талас простире брзином од 343 m/s, кроз воду 1500 m/s, а кроз железничке шине брзином

од 5000 m/s. Из овога се може закључити да што је материјал гушћи, звук се кроз њега преноси брже и дуже.

Постоје три главне јединице које карактеришу звук, поред звучног притиска који је већ поменут, а који се изражава у паскалима P_a , звук карактерише и ниво звучног притиска L , који се изражава у *децибелима*. 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:

$$L = 20 \log \frac{p}{p_0} = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad [W]$$

где су: p - притисак,

I – интензитет звука,

p_0 и I_0 – референтне вредности ових величина.

$$p_0 = 20 \mu Pa$$

Нежно шуштање лишћа има процењен ниво буке $10 db$, атмосферска канцеларијска бука $50 db$. Бука у саобраћају досеже до $70 db$, док метро и возови досежу и $100 db$. При изложености звуку јачине од преко $120 db$, људско ухо почиње да осећа бол.

Сваки звучни извор, има неку снагу, која се изражава у ватима $[W]$. Снага извора је акустичка енергија која у јединици времена одлази у околни простор, и израчунава се следећом формулом:

$$P = 4\pi r^2 \cdot J \quad [W]$$

где су: P – снага извора,

r – полупречник замишљене лопте,

J – интензитет звука који влада на површини замишљене лопте.

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.

У психологији, звук чини пријем звучних таласа и њихова перцепција у мозгу.

2.3. Перцепција звука

Постоји разлика у термину “звук” који се користи у физици и оног коришћеног у психологији, где се односи на перцепцију у мозгу и који изучава поље психоакустике. Историјски, реч звук се односила искључиво на ефекат у мозгу. Звук се дефинисао као “оно што може да се чује; што је проузроковано вибрацијом, а погађа ухо”. До прве половине 20 – ог века, тачан одговор на филозофску загонетку из раног 18 - ог века која гласи “*да ли дрво које падне у шуми, без икога да то чује, прави звук?*” био је “не”. Ипак, савременом

употребом, дефиниција звука као физичке појаве, појавиле су се у речницима, па је сада одговор на пређашње питање “*да, дрво које падне у шуми, без икога да то чује прави звук*”.

Физички пријем звука код сваког организма је ограничен и одређен опсег фреквенција. Као што је већ поменуто, људски опсег фреквенција је од 16 до 20 000 Hz, док горња граница опада са годинама. Понекад, звуком се сматра само оно што спада у људски опсег, јер различите врсте имају различит чулни опсег, те пас може да чује изнад 20 000 Hz, али је глув испод 40 Hz.

Човек слухом добија 86% свих информација из спољашњег света, те чуло слуха представља један од виталних органа за преживљавање.

Анатомски, орган слуха се може поделити на три дела: *спољашње, средње и унутрашње* ухо (Слика 5).



Слика 5 – орган чула слуха [3]

Функционално, орган слуха се може поделити и на:

- **трансмисиони** апарат: - спољашње и средње ухо - са задатком преноса сигнала до перцептивног апарата
- **перцептивни** апарат: - унутрашње ухо, слушни живац, мождани путеви и кортикални слушни центри - са задатком обраде сигнала који је пренесен трансмисионим апаратом.

Спољашње ухо омогућава прикупљање звука, и његово усмеравање ка *слушном* каналу као и пренос звучних осцилација *коштаним* путем до *унутрашњег* уха. У средњем уху су смештени бубна опна, слушне кошчице и Еустахијева туба, који омогућавају пренос звучног сигнала од спољашњег уха до унутрашњег, које такође штите од наглог продирања звучних сигнала. *Унутрашње ухо* је пријемник и претварач механичке енергије звучних таласа у одговарајуће нервне импулсе који се шаљу вишим центрима на даљу обраду и формирање утиска о звуку.

Продужено излагање гласним звуцима изазива оштећење влакнастих ћелија и умањује способност слуха. Са повећањем броја оштећених влакнастих ћелија јавља се све теже разазнавање појединих речи (звуци постају пригушени), што представља неповратан процес. Губитак слуха изазван излагањем буци је највећи на фреквенцијама на којима је људско уво и најосетљивије (око 4 kHz).

Људски мозак може да лоцира извор звука, релативно лако, помоћу два уха и могућности окретања главе и тела. Звук мотора се простире у свим правцима, док се људски говор простире директно од места настанка, уста. Простор кроз који се звук простире умногоме утиче на перцепцију тог звука код слушаоца, јер је оно што се заправо чује делом директни, а делом одбијени звук. Емитовани звук се одбија о зидове или неке друге предмете у окружењу, који апсорбују део фреквенције, и самим тим умањују укупну јачину звука.

Као једно од најраспрострањенијих чула, многе врсте користе чуло слуха за детектовање опасности, комуникацију, преживљавање, навигацију. Чулни опсези за различите врсте животиња приказане су у Табели 1. Земљина атмосфера, вода и било који физички феномен, попут ватре, кише, земљотреса, ствара јединствен, препознатљив звук. Многе врсте, попут жаба, птица и сисара, развили су специјалне органе за стварање звука. Код неких врста, ови органи стварају песму и говор. Људска популација је развила културу и технологију (попут музике, телефона и радија) која им омогућава да манипулишу звуком.

Табела 1 – чулни опсези за различите врсте животиња

Врста	Чулни опсег (Hz)	Врста	Чулни опсег (Hz)
Човек	64 – 23 000	слепи миш	2000 – 110 000
Пас	67 – 45 000	белуга кит	1000 – 123 000
мачка	45 – 64 000	кокошка	125 – 2 000
Крава	23 – 35 000	морско прасе	75 – 150 000
зец	360 – 42 000	Чинчила	90 – 22 800
Пацов	200 – 76 000	сом	50 – 4 000
Миш	1000 – 91 000	Сова	200– 12 000

3. Бука

Бука представља највећу претњу комфору савременог човека. Кроз историју, људи су били изложени различитим интензитетима буке, генерисане од различитих извора, те су били изложени буци коју ствара природа (олуја, таласи, животиње и тд), потом су људи одређеног заната (ковачи, бубњари и тд) у оквиру својих активности трпели буку, док је данас сваки појединац изложен нежељеној буци при својим дневним активностима, на свом радном месту, при мирној шетњи градом. Овима се плаћа цена индустријализације и урбанизације. Поред светлости, бука је главни не-физички загађивач околине. Већ је утврђено да бука има негативан ефекат на орган чула слуха, али значајнији је њен психосоматски утицај.

3.1. Утицај буке на људе

Бука се сматра физичком појавом штетном по здравље. Бука којој су свакодневно изложени људи унутар урбаних средина није довољна за оштећење слуха, али зато изазива низ других ефеката. Најрањивије групе људи на прекомеран звук су старосне доби до 6 година и старије од 65 година.

Бука изазива стрес и утиче на психосоматско здравље, отежавајући настанак сна. Скраћује дубоку фазу сна и олакшава буђење, што се манифестује повећаном количином стреса, хроничним умором, невољношћу, појавом главобоља и нервозе. При сну, оптимално, бука не би требало да прелази 30 dB (Табела 2).

Табела 2 - 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

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

Дакле, бука има негативни утицај на људе који се манифестује много шире од самог органа чула слуха. Излагање прекоменом звуку, поред наглувости узрокује и неуровегетативне реакције, па тако бука утиче на сам нервни систем, централни и вегетативни, те делује на рад срца, притисак, дигестивни тракт, и друге системе унутар организма.

Бука узрокује стрес који се манифестује кроз физиолошке реакције. Ове реакције могу бити пролазне и краткотрајне (пад имунолошког система, поремећај пажње, сужење видног поља итд.), али и *хроничне* (несаница, повишен крвни притисак, поремећај апетита и сексуалних функција, напетост). Овакви поремећаји се јављају при изложености буци од изнад 80 dB.

Становништво највише погађа комунална бука приликом спавања. Највише су угрожени они који живе надомак ауто – путева или неке друге важне и прометне саобраћајнице. Управо ово становништво чешће осећа тегобе хроничног умора, неиспаваности, главобоље, од становништва које живи у окружењу са нормалним нивоом буке.

Мора се поменути и фактор дехуманизације људских процеса, кроз смањену толеранцију, фрустрацију, снижени праг реаговања, при повишеној буци, док минимална бука узрокује анксиозност, агресивно и непријатељско понашање.

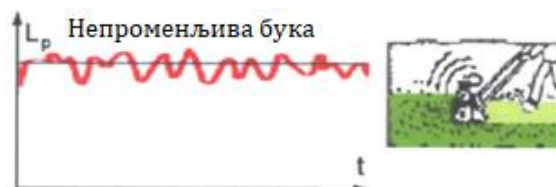
3.2. Врсте буке

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.

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

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

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



Слика 6 – Непроменљива бука [3]

Променљива бука (Слика 7) је бука променљивог нивоа, са променама 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.



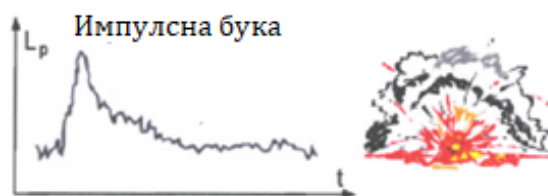
Слика 7 – Променљива бука [3]

Испрекидана бука (Слика 8) 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 ниво ове буке потребно је извести мерење нивоа изложености буци за сваки циклус рада извора.



Слика 8 – Испрекидана бука [3]

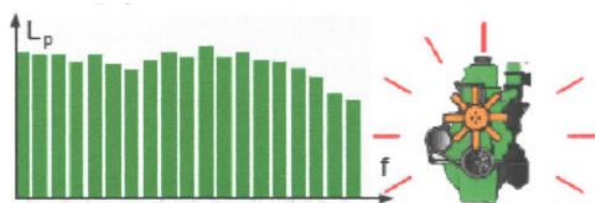
Постоји и импулсна бука (Слика 9), која садржи један или више растућих врхова, у трајању од једне секунде. Ова врста буке је велика претња за здравље, али не представља типичну комуналну буку, те се њене карактеристике неће детаљно сагледавати.



Слика 9 – Импулсна бука [3]

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

Широкопојасна бука има прилично равномеран распоред звучне енергије (Слика 10) у широком фреквенцијском опсегу (обухвата више октава). Комунална бука је углавном овог типа.



Слика 10 – Широкопојасна бука [3]

Ускопојасна бука је врста буке код које је звучна енергија концентрисана у ужи фреквенцијски опсег (Слика 11).



Слика 11 – Ускопојасна бука [3]

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

3.3. Комунална бука

Комунална бука, односно бука у животној средини представља буку коју стварају сви извори буке из човековог окружења.

Ова врста буке може потећи од извора на отвореном или затвореном простору.

Највећи емитери комуналне буке на отвореном простору могу се поделити на следеће групе:

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

Извори *комуналне* буке у затвореном простору могу се поделити на следеће групе:

- кућни апарати (усисивач, фен за косу, вес машина и тд),
- вентилациони системи и клима уређаји, пумпне станице, трафостанице,
- уређаји за музичку репродукцију,
- јавна окупљања.

3.4. Бука од саобраћаја

Саобраћај, односно машине које су потребне за његово одвијање, представљају највећи извор комуналне буке. Ова бука потиче од:

- возила,
- трења између пнеуматика и површине пута,
- понашања возача,
- активности везаних за изградњу и одржавање путева.

Аутомобилски саобраћај представља главни извор буке у градским срединама. Ова бука настаје као резултат буке мотора и трења између точкова и подлоге. Бука мотора и

механичка бука, бука издувног и уисног система, кочница, звуци при кретању и стајању, све ово чини свакодневну појаву у урбаним срединама.

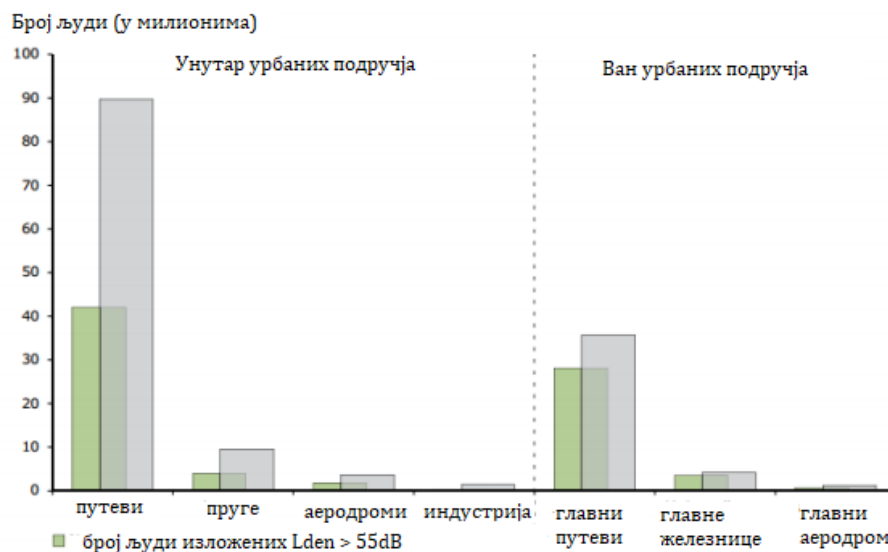
Саобраћајна бука на некој локацији зависи од више фактора, попут:

- вида саобраћаја (да ли је у питању аутомобилски, шински или аеро саобраћај, значајно утиче на ниво емитоване буке),
- удела *теретног* саобраћаја у саобраћају који се одвија,
- нагиб и тип *улице*, габарити објеката и густина насељености,
- подлога, брзина кретања возила (близина семафора и раскрсница),
- опште техничко стање возила.

Уколико се возило креће брзином мањом од 50 км/час, доминира бука која се ствара у мотору, док при већој брзини од ове, доминира бука од пнеуматика.

Контрола овог вида буке врши се кроз урбанистичке планове вишег и нижег реда, планирање саобраћајница, ограничење теретног саобраћаја, посебан режим возила која врше послове испоруке, повећање капацитета јавног градског превоза, уз његову промоцију, употребу бицикала и тд. О овоме ће бити више речи у наредном поглављу о методама заштите од буке.

Оно што се не сме изоставити, јесте чињеница да све већи број људи, како у Европи, тако и у целом свету живи у градовима, и обим саобраћаја стално се увећава. Уједињене нације на основу статистике из 2011. године, када је на европском континенту живело 739,3 милиона становника, од чега 72,9% у градовима, предвиђају да ће 2050. године чак 82,2% Европљана живети у градовима. Овакав податак значи да ће ниво буке унутар градова расти, јер ће ова маса људи имати свакодневну потребу за транспортом. Број људи који су изложени буци на подручју Европе приказан је на слици 12.



Слика 12 – Графички приказ броја људи у милионима изложених прекомерној буци у Европи [4]

Светска здравствена организација процењује да је 40% становника Европске уније изложено буци друмског саобраћаја која премашује 55 dB (A), да је 20% у току дана изложено нивоима буке који премашују 65 dB (A), док је више од 30% становника ноћу изложено нивоима буке преко 55 dB (A). У којој мери ове вредности премашују оне препоручене и пожељне, довољно је рећи да је за квалитетан сан неопходно да комунална бука која ноћу допире у спаваће собе, не прелази 30 dB(A), а да је за добре услове за предавање и учење потребно да бука у учионицама не прелази ниво од 35 dB (A).

Поред аутомобилског саобраћаја, значајну буку емитује и железнички саобраћај (чији се утицај сматра мање штетним од аутомобилског), као и ваздушни саобраћај.

Бука у граду потиче како од саобраћаја, тако и од употребе машина и механизације, уређаја, апарата, инсталација и друге опреме која се користи у производњи или која је уграђена у објекте. Ови извори буке морају бити усклађени са техничким прописима који се односе на гранични ниво буке под одређеним условима употребе, а релевантни подаци о буци у условима употребе морају бити означени на производу, у складу са посебним прописима.

4. Контрола буке

Контрола буке, односно спровођење превентивних мера у циљу њене минимизације, није нови концепт. У Старом Риму, због токова који су ударили о калдрму, употреба кочија је била забрањена ноћу, у циљу отклањања буке која омета сан грађанима и узрокује нелагоду. Вековима касније, у средњовековној Европи, градови су или забрањивали кретање кочија ноћу или посипали путеве сламом, како би контролисали буку. Постоје писани докази да су власти у 18 – ом веку у Филаделфији уредили посипање улица земљом, како бука не би утицала на раднике. Из ових примера може се уочити занимљивост: Извор буке који је ометао живот грађана од периода Старог Рима, преко средњег до новог века, и данас представља највећу претњу градском животу, а потиче од транспортних средстава. Ипак, ниво, учесталост и разноликост буке модерног доба је значајно напредовао у односу на оне из прошлости. Ово је узроковао раст популације, насељавање и технолошки развој.

Нажалост, не полажу се наде у то да ће бука нестати научним пробојем, из разлога што не постоји ствар као што је нечујна машина. Део енергије који се улаже у рад машине, мора се претворити у буку, иако је тај део веома мали. Аутомобил можда има снагу 100 kN. Од тога само један део, 0.1 N излази као бука. Контрола буке је са техничке стране веома захтевна и скупа, јер захтева значајно смањење емитоване акустичке енергије из извора. На пример, да би се редуковала бука за 3 dB, мора се уклонити 50% акустичке енергије (звук је два пута тиши, одузимањем 3 dB), што значи да би се бука редуковала за 30 dB, акустичка енергија би морала да се редукује за 99,9%.

Мере заштите од буке се могу поделити у четири велике групе:

- смањење буке на извору,
- смањење распрострања буке,
- заштита од буке на месту емисије,
- економске мере и регулатива.

Прва група представља примарне мере заштите, док су друге три секундарне.

Како аутомобилски саобраћај највише утиче на количину буке у урбаним срединама, првенствено ће бити поменуте методе за контролисање овог вида буке. Важно је напоменути да је Европска Унија још Директивом 70/157/ЕЕС из 1970. године прописала допуштене нивое буке за моторна возила (аутомобиле, камионе, аутобусе). Касније је ова Директива мењана и допуњавана, али Европска комисија непрестано продубљује норме везане за техничка побољшања опреме и самог возила. Ова Директива има сврху да смањи буку од интеракције пнеуматика и возне површине.

Мере за смањење укупне буке настале у саобраћају, могу се поделити на две групе, на основу момента њиховог деловања:

- мере превенције
- мере смањења

Мере **превенције** подразумевају избегавање проблема померањем правца пута, односно преусмеравањем тока саобраћаја са осетљивих подручја, коришћењем обилазница. Избор саобраћајница без стрмих нагиба и оштрих кривина, може значајно да смањи ниво буке на одређеном путу.

Мере **смањења** буке се односе на:

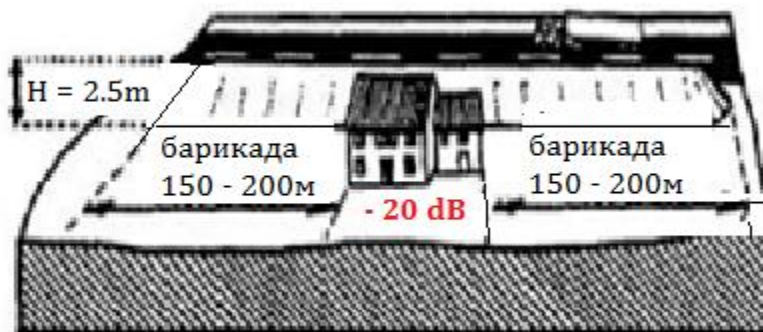
Мере на возилу које представљају деловање на самом извору буке, кроз конструкцију возила, избор пнеуматика и издувних система, кроз одржавање возила. У овом сегменту мера смањења буке, законске регулативе би требало да утичу на квалитет возила која смеју да се нађе на путевима.

Израда и одржавање површине коловоза значајно утиче на квалитет одвијања саобраћаја, а и на емитовани ниво буке. Углавном се примењује битуменски површински слој, који је користан као превлака преко застарелог асфалта. Користи се и градуирани асфалт за посебно осетљива подручја.

Геометрија пута у смислу избегавања стрмих нагиба и оштрих кривина, утиче на буку која би се стварала услед убрзања, кочења, промене степена преноса и коришћења моторске кочнице на критичним локацијама.

Звучне баријере се стандардно користе за смањење нивоа буке у насељеним местима. Најефикасније су ако преламају линију вида између извора буке и пријемника које треба заштитити и уколико су довољно дебеле да апсорбују / рефлектују примљену буку. Градња звучних баријера се усавршава већ деценијама и тестиране су различите карактеристике материјала, са dobrим особинама одбијања, апсорпције или дисперзије звука, а који су такођу естетски прихватљиви.

Најчешће се у пракси срећу баријере од земљаних насипа, или зидова од дрвета, метала, бетона или са слојем камене вуне. Обично се комбинују две или више типова баријера, ради максималне ефикасности. Често се поред путева саде и леје дрвећа или жбуња, које немају стварни перформанс при смањењу буке, али психолошки минимизују буку, а често и крију не тако естетски богате баријере. На Слици 13 је приказан пример лоцирања барикаде високе 2,5 м на 150 метара од стамбеног објекта, које резултира смањењем нивоа буке за 20 dB.



Слика 13 – Барикада висине 2,5 м на раздаљини од 150 м која смањује буку за -20 dB [5]

Изолација у урбаним просторима се примењује као последњи покушај контроле буке, у виду дуплих прозора и камене вуне унутар зидова. Ово решење је нужно приликом непредвиђеног повећања промета саобраћаја на путу лоцираном у близини неког објекта.

4.1. Контрола буке у Републици Србији

Закон Републике Србије, односно *Закон о заштити од буке*, предвиђа пет субјеката заштите животне средине од буке:

- Република Србија,
- Аутономна покрајина,
- јединица локалне самоуправе (град, општина и тд),
- привредна друштва, правна лица, предузетници и тд,
- научне и стручне организације, друштва грађана и тд.

Министарство за заштиту животне средине представља орган Републике Србије који се бави заштитом животне средине, утврђује мере заштите у плановима, пројектима, затим Влади предлаже акционе планове заштите од буке, преузима одговорност за контролу буке у срединама од значаја за Републику Србију, овлашћује стручне организације за мерење буке, и тд.

Агенција за заштиту животне средине, која је основана од стране Министарства, бави се стратешким картама буке и организује базе података.

Јединица локалне самоуправе утврђује мере заштите, врши акустичко зонирање, одређује мере забране, доноси локални акциони план заштите, финансира мерење буке на својој територији. Поред градова који морају да финансирају мере заштите, то морају да раде и правна и физичка лица која својим активностима подижу ниво буке у животној средини.

На *Мере и услове заштите од буке у животној средини* у закону РС се делује на више нивоа и то кроз:

- *просторно, урбанистичко и акустичко планирање* (просторни распоред инфраструктуре, индустријских, стамбених и рекреационих простора),
- *звучну заштиту* (планирање наменске употребе простора, планирање саобраћаја, мере заштите, контрола извора буке),
- *утврђивање испуњености услова заштите од буке* (за рад и активности постројења, нужна је интегрисана дозвола, која садржи мере заштите од буке у складу са законом).

Овим законом се утврђују индикатори буке и граничне вредности:

- *индикатори буке* (сазнање о индикаторима буке је нужно за процену и предвиђање нивоа буке и њених ефеката, израду страшких карата и планирање мера заштите),
- *граничне вредности* (Влада прописује граничне вредности, методе за процену индикатора, узнемиравање и штетних ефеката),

Поред атмосферске буке, која је опште присутна, у поглављу *Појединачни извори буке* се дефинише пракса где се потенцијални извори буке (машине, превозна средства, уређаји произведени или увезени у РС) морају пре употребе ускладити са техничким прописима о граничном ниву буке, а ови подаци о буци у условима употребе морају бити означени на производу.

У овом поглављу се дефинише и термин **зонирање**, односно да се у акустичким зонама може забранити или ограничити употреба извора буке, односно обављање делатности и активности које емитују буку изнад граничних вредности.

Дефинише се и обавеза организатора јавних скупова, активности и приредаба да при пријави јавног скупа доставе податке о мерама заштите од буке, уколико се очекује прекорачење граничних вредности.

Стратешке карте буке су важан механизам мониторинга буке, а садрже приказ података о стању буке, а посебно:

- постојећи, претходни и предвиђени *ниво буке*,
- места прекорачења прописаних граничних вредности,
- процењени број домаћинстава, школа и болница изложеним прекомерној буци,
- процену броја људи који се налазе на одређеном простору и који су изложени буци изнад граничних вредности.

Израда стратешких карата се врши за агломерације са више од 100 000 становника, главне путеве са прометом већим од 3 000 000 возила годишње, за пруге са више од 30 000 возова годишње, као и за главне аеродроме.

4.2. Мерење буке у Републици Србији

Мониторинг буке се врши мерењем, оцењивањем или прорачуном одређеног индикатора буке. Као што је већ поменуто, Република Србија, аутономна покрајина, јединица локалне самоуправе врше мерење буке и обезбеђују новчана средства за извођење тог мерења.

Бука се може мерити:

- **појединачно** – када власник, односно корисник извора буке обезбеђује мерење буке и израду извештаја о мерењу и сноси трошкове тог мерења,
- **од стране Овлашћене стручне организације за мерење буке** – коју именује Министарство, на основу захтева и испуњених услова у погледу простора, кадрова, опреме и методе за мерење буке, а овлашћење ових организација важи четири године.

На основу *Правилника о мерењу буке*, дефинисан је садржај извештаја о мерењу буке, који мора да садржи:

- општи део,
- задатак мерења,

- услове и резултате мерења,
- закључак,
- прилоге.

Општи део садржи податке о овлашћеној организацији која мери буку, копију овлашћења за мерење, уверење о исправности мерила, податке о наручиоцу мерења и списак опреме. *Задатак мерења* представља податке о наручиоцу мерења и његовим мотивима.

Услови и резултати мерења чине срж овог документа и садрже:

- *опис локације* објекта у коме се налази извор буке и простор који је потенцијално угрожен буком,
- *евиденцију извора буке*, сваки извор буке појединачно наведен,
- *датум и час мерења* (од-до),
- *режим рада и положај* извора буке,
- *опис* мерног места,
- податак о зони и *метеоролошке услове*;
- *ознаку мерне тачке*, коју дефинише овлашћена организација на основу задатка мерења, временски интервал мерења и референтно време;
- опис буке према временском току, одређивање да ли је бука променљива или непроменљива, непрекидана, импулсна,
- опис буке према фреквенцији
- одабрану динамичку карактеристику инструмента за мерење (SLOW - FAST);

Закључак садржи финалну оцену према прописаним критеријумима за сваку мерну тачку - ниво буке ПРЕЛАЗИ или НЕ ПРЕЛАЗИ граничну вредност буке у животној средини, као и потпис овлашћених лица, вршиоца мерења и контролора.

Прилози садрже решење надлежног органа којим се налаже мерење, уколико је то узрок мерења и фотодокументацију.

4.3. Индикатори буке

Индикатор буке је акустичка величина којом се описује бука у животној средини и изражава се јединицом dB (A). Индикатори буке се користе за израду стратешких карата, а основни индикатори описују ометање буком за временски период од 24 часа (L_{den}), у току дана (L_{day}), у току вечери ($L_{evening}$) и у току ноћи (L_{night}).

Постоји и меродавни ниво буке (L_{RAeqT}) и ниво изложености буци (L_{AE}). При том, период од 24 часа чине три интервала: дан који траје 12 часова (од 6 до 18 часова); вече траје 4 часа (од 18 до 22 часа); ноћ траје 8 часова (од 22 до 6 часова).

Граничне вредности индикатора буке у насељеним местима, према зонама насеља, дате су у Табели 3:

Табела 3 - Граничне вредности индикатора буке на отвореном простору [6]

Зона	Намена простора	Ниво буке у dB (A)	
		За дан и вече	За ноћ
1.	Подручја за одмор и рекреацију, болничке зоне и оправишта, културно – историјски локалитети, велики паркови	50	40
2.	Туристичка подручја, кампови и школске зоне	50	45
3.	Чисто стамбена подручја	55	45
4.	Пословно – стамбена подручја, трговачко – стамбена подручја и децја игралишта	60	50
5.	Градски центар, занатска, трговачка и административно – управна зона са становима, зона дуж аутопутева, магистралних и градских саобраћајница	65	55
6.	Индустријска, складишна и сервисна подручја и транспортни терминал без стамбених зграда	Не сме прелазити граничну вредност зоне са којом се граничи	

Граничне вредности индикатора буке у затвореним просторијама у којима бораве људи дате су у Табели 2.

Табела 4 - Граничне вредности индикатора буке у затвореним просторијама [6]

Зона	Намена просторија	Ниво буке у dB (A)	
		За дан и вече	За ноћ
1.	Боравишне просторије (спаваћа и дневна соба) у стамбеној згради при затвореним прозорима	35	30
2.	У јавним и другим објектима, при затвореним прозорима:		
2.1	Здравствене установе и приватна пракса и у њима:		
	а) болесничке собе	35	30
	б) ординације	40	40
	с) операциони блок медицинских уређаја и опреме	35	35
2.2	Просторије у објектима за одмор деце и ученика, и спаваће собе домова за боравак старих лица и пензионера	35	30

2.3	Просторија за васпитно образовни рад (учионице, слушаонице, кабинети и сл), биоскопске дворане и читаонице у библиотекама	40	40
2.4	Позоришне и концертне дворане	30	30
2.5	Хотелске собе	35	30

Ниво буке за дан – вече - ноћ L_{den} , у децибелима dB(A) дефинише се следећом једначином:

$$L_{day} = 10 \log \frac{1}{4} \left(12 \times 10 \frac{L_{day}}{10} + 4 \times 10 \frac{L_{evening} + 5}{10} + 8 \times 10 \frac{L_{night} + 10}{10} \right)$$

Висина тачке у којој се одређују L_{den} и L_{night} зависи од примене, те када се ради о прорачунима за стратешке карте буке, а треба одредити изложеност зграде буци, висина тачке је $4,0 \pm 0,2 \text{ m}$ (3,8 до 4,2 m) изнад тла, на најизложенијем делу фасаде (спољни зид окренут према посматраном звучном извору), док на пример за потребе акустичког планирања или акустичког зонирања простора, могу се одабрати и друге висине, али не ниже од 1,5 m изнад тла.

Ниво изложености буци је ниво буке појединачног догађаја за одређени временски интервал и одређује се према следећој једначини:

$$L_{AE} = 10 \log \left[\frac{1}{t_0} \int_{t_2}^{t_1} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right]$$

где је: $p_A(t)$ - тренутна вредност А-пондерисаног звучног притиска;

$t_1 - t_2$ – посматрани временски интервал довољно дуг да обухвати све значајне појаве буке у датом случају;

p_0 – референтни звучни притисак (20 μPa);

t_0 – референтно трајање (1 s).

4.4. Одређивање акустичких зона

Јединица локалне самоуправе предузима мере за заштиту становништва од буке у животној средини и у том циљу одређује акустичке зоне у насељу, као и граничне вредности индикатора буке у тим зонама. Тако одређује тихе зоне, односно заштићена подручја у којима су прописане граничне вредности од 50 dB (A) у току дана, односно 40 dB (A) у току ноћи.

Одређивање акустичких зона врши се у зависности од *намене* простора, према постојећем *стању изграђености*, *начину коришћења земљишта*, а у њима је забрањена употреба извора буке који би својом активношћу могли да повисе ниво буке у тим зонама.

Акустичке зоне се приказују:

- за одређену *зону насеља*, за зоне сродне намене, комплекс објекта који може бити извор буке или је угрожен буком,
- за *зоне дуж аутопута*, и других прометних путева, као и градских улица у којима се одвија саобраћај.

Акустичке зоне могу бити подручја за одмор и рекреацију, болничке зоне, туристичка подручја, кампови и школске зоне, чисто стамбена подручја, индустријска, складишна и сервисна подручја и тд.

4.5. Стратешка карта

Као што је већ споменуто, стратешка карта буке садржи податке о нивоима буке на одређеном подручју у календарској години.

Како је сврха стратешке карте информисање јавности и стварање услова за израду акционих планова, стратешка карта буке мора да садржи садржи:

- графички приказ *индикатора* буке,
- карте које *приказују подручја с прекорачењем граничних вредности*,
- карте у којима се постојеће стање пореди с могућим будућим ситуацијама,
- карте које приказују вредности индикатора буке на висинама мањим или већим од 4 метра, ако то захтева ситуација на терену.

Стратешка карта буке агломерације садржи податке о буци коју емитују *друмски, железнички, ваздушни и индустријски* саобраћај.

Текстуални део стратешке карте буке агломерација садржи: 1. *сажет опис подручја* (локација, величина, број становника), 2. *податке о субјекту заштите животне средине* задуженом за израду стратешке карте буке, 3. *опис мера* и програма заштите од буке који су се спроводили у претходних 10 година или који су у току, 4. *методе* коришћене за израду стратешке карте буке, 5. *податке о броју* људи изложеним различитим граничним вредностима буке у току дана и у току ноћи.

Рачунарским програмом се врши израда стратешких карата на основу прорачуна индикатора буке и рачунских софтвера.

Прорачун индикатора буке спроводи се за мрежу тачака 10 x 10 метара на висини од 4 метра изнад тла. Разматра се искључиво директан звук, а не његова рефлексија.

Процена штетног ефекта буке на становништво при изради стратешких карата се посматра кроз однос бука – ефекат. Процена овог ефекта се врши на основу *индикатора изложености* становника у току дана и ноћи, а ефекат се посебно приказује за станове са посебном *звучном изолацијом*, за оне са *тихом фасадом*, као и за различите *метеоролошке прилике*, становништво посебно осетљиво на буку и сл.

Графички део стратешке карте буке израђује се на подлогама агломерација, на којима се приказују индикатори буке у облику линија истих нивоа буке с међусобним размаком од 5 dB, означени бојама наведеним у Табели 3.

Табела 5 – Боје које приказују нивое буке у графичком делу стратешке карте буке [7]

Ниво буке L/dB (A)	Назив боје	Ознака боје према DIN6164, Deo 1 T: S:D	Одговарајућа боја у регистру боја
$L \leq 35$	Светлозелена	22,9: 2,0: 1,3	RAL 6019
$35 < L \leq 40$	Зелена	23,0: 7,3: 3,1	RAL 6018
$40 < L \leq 45$	Тамнозелена	20,8: 6,2: 3,2	RAL 6016
$45 < L \leq 50$	Жута	24,8: 5,9: 0,7	RAL 1016
$50 < L \leq 55$	Окер	2,8: 4,3: 2,9	RAL 1011
$55 < L \leq 60$	Пастелнонаранџаста	5,1: 6,0: 1,1	RAL 2003
$60 < L \leq 65$	Црвена	7,4: 8,6: 2,0	RAL 3020 – F81
$65 < L \leq 70$	Рубин црвена	7,8: 8,9: 3,6	RAL 3003
$70 < L \leq 75$	Пурпурна	10,3: 5,7: 3,9	RAL 4006 – F81
$75 < L \leq 80$	Светлоплава	17,3: 4,4: 2,2	RAL 5012
$80 < L$	Тамноплава	17,3: 5,7: 4,0	RAL 5019

Субјекти заштите животне средине од буке (Република Србија, аутономна покрајина, јединица локалне самоуправе), обезбеђују тродимензионални дигиталан модел подручја за који се израђује карте буке. Дигиталан модел садржи:

- релативан међусобни однос висинских тачака с највећом могућом доступном тачношћу, али не мање од 1.5 метара,
- изохипсе и висинске тачке,
- све грађевинске објекте и све врсте покривача тла.

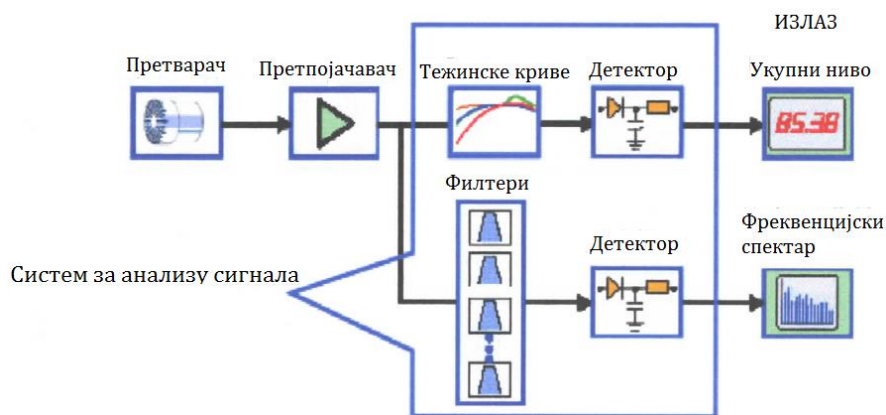
Стратешке карте буке приказују се јавности у штампаном, односно електронском облику, и то као графички приказ и као нумерички подаци у табелама.

4.6. Мерач нивоа звучног притиска

Мерач нивоа буке, основни је инструмент за одређивање нивоа буке. Ово је уређај који се може држати у руци и садржи микрофон. Уређај мери ниво буке на следећи начин: Дијафрагма микрофона одговара на промене ваздушног притиска узрокованим звуком. Из овог разлога се овај уређај понекад у литератури на енглеском језику назива *Sound Pressure Level (SPL) Meter*. Ово покретање дијафрагме, односно девијација звучног притиска, која се

мери паскалима (Pa), се конвертује у електрични сигнал, односно у волте (V). Мерач нивоа звука мери различите вредности у вези са променом звучног притиска, па се по том принципу ови уређаји међусобно разликују.

Осетљивост микрофона се заснива на различитим вредностима волтаже, при излагању микрофона већ познатом, константном звуку. Сам инструмент мора знати осетљивост микрофона који се користи, како би коришћењем ове информације могао да прецизно конвертује електрични сигнал натраг у звучни притисак и правилно прикаже резултате у форми која означава нивоа звучног притиска, односно у децибелима.



Слика 14 – Мерни ланац [3]

Постоје три врсте инструмената, аналогних или дигиталних, за мерење параметара буке. Ови уређаји служе:

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

Ови уређаји се најчешће користе за студије утицаја различитих феномена на животну средину и ови уређаји су одређени стандардима IEC 61672-1:2013. Али ипак читавање вредности, односно нивоа звука са оваквих уређаја каткад није у сагласности са људском перцепцијом гласноће, коју је боље мерити уређајем за мерење гласноће.

Најпознатији произвођачи уређаја за мерење нивоа звука, који обезбеђују богату палету ових уређаја који су у складу са стандардима су NTi Audio, Svanitek, Cirrus Research plc, 3M, Rion и Brüel & Kjær, чији се модел ознаке 2250 и користи у овој студији.

Мераче нивоа звука често описују одреднице *прецизни*, *интеграциони* или *импулсни*. *Прецизан* мерач нивоа звука подразумева уређај који припада класи 1 уређаја, док карактеристика *импулсни* подразумева да фонометар садржи и IMPULSE мод, поред убичајених SLOW и FAST. Одредница *интеграциони* означава могућност мерења еквивалентног непрекидног А-пондерисаног нивоа звучног притиска L_{eqT} у складу са стандаром.

Често се уз мерач додају филтери (октавни, трећинско ($1/3$) октавни), који служе за одређивање амплитудног спектра буке. Постоје и филтери разних пропусних опсега, као и они који се користе за прецизна и специјална мерења.

Мерач нивоа звука може измерити више значајних физичких величина. Првенствено ће бити описан појам процене фреквенције.

Фреквенцијско оптерећење може бити A , C или Z^1 (Слика 15) типа еквивалентног непрекидног пондерисаног нивоа. Уколико је звук произведен са једнаким звучним притиском кроз цели фреквенцијски спектар, на графику може бити представљен до линије Z еквивалентног непрекидног пондерисаног нивоа.



Слика 15 – A , C и Z тип еквивалентног непрекидног пондерисаног нивоа [7]

Оно што је човек физички способан да чује, презентовано је линијом A . Људско ухо мање рецептује веома ниске и високе фреквенције. Како би се утицај нивоа звука на људе боље прорачунао и протумачио, користе се корекциони (пондерациони) филтери. Употребом ових филтера се значајно прецизније процењује ствари утицај звука на орган слуха, те су зато и многе норме и законски прописи дати у $\text{dB}(A)$, односно у јединици која представља ниво звучног притиска.

Акустични звук садржи ниже и више фреквенције од оних које човек може да рецептује. Линија процене C представља оно што човек чује када се звук појача, постаје осетљивији на ниже фреквенције. Линије A и C су најзначајније приликом процене реакције човека на одређену фреквенцију емитовану у некој средини.

Еквивалентни континуални ниво звука L_{AT} или L_{eq} представља просечни ниво звука у току неког временског интервала. Ниво изложености звуку, који се изражава у децибелима, не користи се пуно приликом мерења индустријске буке. Управо се у овим околностима

¹ Негде у литератури, ово је D тип еквивалентног непрекидног пондерисаног нивоа

користи L_{AT} , односно Leq , чија се вредност заснива на израчунавању изложености звуку, делењу те вредности са временом и онда прорачунавањем логаритамске вредности.

Ниво звучног притиска импулсне буке $LCpk$ (*Peak Sound Pressure Level*) је врло важно својство звука мереног у току неког временског интервала, а који је посебно значајан за заштиту радника од наглих удара звучног притиска. При овом мерењу се користи C или Z линија процене. Овај ниво звучног притиска се не сме заменити појмом максимални ниво звучног притиска LAS_{max} , који представља очитану вредност са уређаја за мерење нивоа звука, у наглашеном периоду, за одређено време процене, и може бити пуно децибела нижи од нивоа звучног притиска импулсне буке.

4.7. Директива Европске Уније о заштити од буке

Директиви 2002/49/EУ која је ступила на снагу 25. јуна 2002. године, а која се односи на процену и управљање буком, претходиле су многе директиве које су се тичале управљања буком. Тако је још 1970. године донета директива која се односила на допуштен ниво буке и издувних гасова код моторних возила². Затим је 1977. године донета директива која се односи на ниво буке који потиче од трактора и других возних машина које утичу на возаче који се баве шумарством или пољопривредом³. Крајем 1979. године је регулисана количина буке коју емитују авиони, док је 2000. године донета директива о усклађивању закона држава чланица која се односи на емисију буке у околину узроковане опремом за употребу на отвореном⁴.

Циљ ове директиве је да створи темељ за развој и имплементацију већ постојећих мера, којима се регулише дејство највећих емитера, посебно моторних и шинских возила и њихова инфраструктура, потом авиона, индустријске опреме и тд.

У овој директиви се говори о томе како је нужно створити заједничко разумевање проблема буке, како је потребно прикупљати, разврставати и објављивати податке везане за ниво буке, као и имати усклађене методе и мерила унутар заједнице.

Директива усмерава на нужност израђивања стратешких карата буке у неким подручјима од интереса, док су акцијски планови везани за то подручје усмерени ка приоритетима, и израђени од стране надлежних тела у саветовању са јавношћу.

Међу циљевима директиве је наглашено да је њена сврха дефинисање заједничког приступа усмереног првенствено на избегавање, спречавање и смањивање изложености буци. У том се циљу поступно проводе следеће мере:

- утврђивање изложености буци из околине изградом карата буке, методама процене које су заједничке државама чланицама
- осигуравање да подаци о буци и њеним утицајима буду доступни јавности

² Direktiva 70/157/EEU од 6. фебруара 1970.

³ 77/311/EEU од 29. марта 1977.

⁴ 2000/14/EZ од 8. маја 2000.

- израда акцијских планова од стране држава чланица, на основу израђених карата буке, у циљу спречавања и смањивања буке из околине где је то потребно, а посебно онде где нивои изложености могу изазвати штетне ефекте на људско здравље

У Закону о заштити од буке Републике Србије, израда стратешких карата се врши за англомерације са више од 100 000 становника, путеве са прометом већим од 3 000 000 возила на годишњем нивоу и пруге са више од 30 000 возова годишње. Директивом Европске Уније се израда стратешких карата предвиђа англомерације од преко 250 000 становника, за путеве са преко 6 000 000 возила и пруге са прометом већим од 60 000 возова годишње. Поред стратешких карата, акциони планови морају бити написани за свако од ових подручја.

У складу са *Директивом о слободи приступа информацијама о животној средини*⁵, стратешке карте и акциони планови морају бити јасни, разумљиви и доступни јавности, а морају и садржати и скраћену верзију са истакнутим најважнијим тачкама.

⁵ 90/313/EEZ од 7. јуна 1990

5. Мерење буке у Крагујевцу

5.1. Званични извештаји Службе за заштиту животне средине

По Закону о заштити од буке у животној средини, јединица локалне самоуправе утврђује мере заштите, врши акустичко зонирање, одређује мере забране, доноси локални акциони план заштите и финансира мерење буке на својој територији.

Град Крагујевац, само стално финансира мерење буке, а Служба за заштиту животне средине резултате издаје мерења издаје у *Еколошком билтену* који се може наћи на сајту града. Поред информација о нивоу буке, овај билтен садржи и корисне информације о емисији штетних гасова у атмосферу, азот диоксида, сумпор диоксида, црног дима, чађи итд., као и о мерама које ће се предузети ради смањивања тих штетних емисија.

Од априла ове године, бука у граду није мерена, па подаци који се спомињу у раду, датирају из тог времена.

Мерења буке се врше на шест мерних локација:

- Прометна саобраћајница ул. Кнеза Михајла – Мала Вага, (дан 65 dB, ноћ 55 dB),
- Зона градског центра, ул. Краља Александра I Карађорђевића, (дан 65 dB, ноћ 55 dB),
- Стамбена зона, ул. Незнаног јунака – насеље Аеродром, (дан 55 dB, ноћ 45 dB),
- Границе индустријске зоне, ул. Драгослава Срејовића – код вртића, (дан 55 dB, ноћ 45 dB),
- У болничкој зони, КЦ Крагујевац – на травњаку у правцу ул. Змај Јовина, (дан 50 dB, ноћ 40 dB),
- Зона одмора и рекреације, ул. Крагујевачког октобра – Велики парк (дан 55 dB, ноћ 45 dB).

Мерење буке се врши на висини од 1,2 m до 1,5 m од површине терена, на удаљености најмање 3,5 m од зидова објеката, како је и предвиђено законом. Такође, мерење буке којој су изложене зграде у насељима вршено је на 1 до 2 m од фасаде. Мерење се врши два пута у току дана (почевши пре поднева), у току вечери и два пута у току ноћи (последњи пут око 3 ујутру).

Приликом мерења се дефинишу потенцијални извори буке, попут аутомобила, људи, камиона. Пре самог мерења, одређују се микроклиматски услови, који су од значаја за меродавност резултата: температура ваздуха, релативна влажност ваздуха, ваздушни притисак и брзина ветра, који су добијени од локалне хидрометеоролошке станице која је у саставу Хидрометеоролошког завода.

Приликом мерења на отвореном простору, одређена је и учесталост лаких и тешких моторних возила.

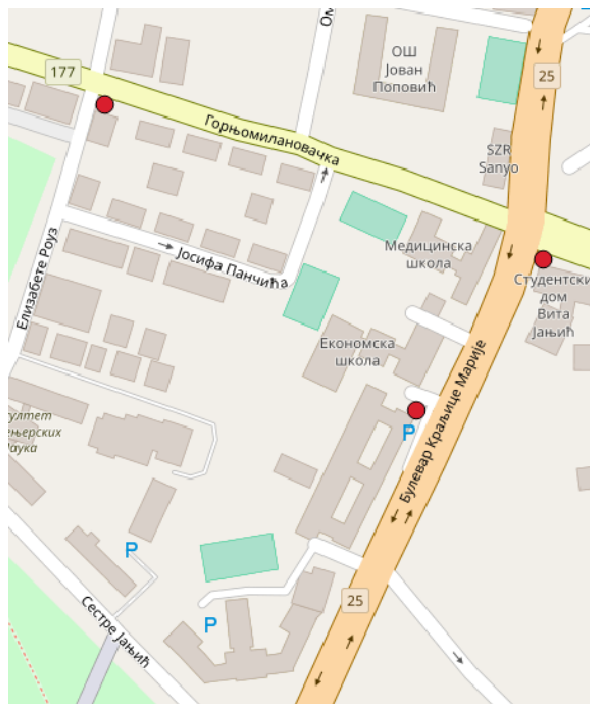
Измерена бука се потом класификује *временски* и *фреквенцијски*. **Временски** може бити (како је претходно напоменуто) *непроменљива, променљива, испрекидана, импулсна*, док се **фреквенцијски** дефинише као *широкопојасна, ускопојасна, са истакнутим тоном, са нискофреквентним садржајем*.

Бука се у Крагујевцу, судећи по званичним извештајима, креће у законским оквирима.

5.2. Мерење буке на одабраним локацијама у граду Крагујевцу

Практичан део овог дипломског рада чини мерење нивоа звучног притиска до саобраћајница и иза објеката који се налазе до саобраћајница. Резултати добијени експерименталним мерењима затим се упоређују са резултатима добијеним нумеричким путем, коришћењем софтвера qGIS и модула OpenNoise. Део града у коме је мерена бука јесте блок омеђен улицама *Радоје Домановић, Сестре Јањић, Елизабет Рос, Краља Милана IV*. Тачке на којима је мерена бука су приказане на Слици 16, а то су:

- испред Студентског дома, на углу Потпоручника Говедарице и Радоје Домановић улице,
- на углу Елизабет Рос и Краља Милана IV,
- Испред Студентског културног центра, до улице Радоје Домановић.



Слика 16 – Тачке мерења, испред и иза објеката

Мерења буке су се вршила у интервалу од 14 часова до 16 часова. Коришћен мерни уређај је уређај ознаке **2250** фирме *Brüel & Kjær* (Слика 17). Ова компанија важи за највећег произвођача и снабдевача уређајима и системима који служе за процену буке и вибрација.

Уређаји ове фирме налазе своју примену при тестирању подморница, идентификовања извора буке, мониторинга животне средине, идентификовања извора буке и тд. Основана је 1942. године, а данас запошљава 1350 радника. Подређена је фирми Spectris, plc, британској компанији која се бави анализом материјала, тестирањем и мерењем и калибрирањем. и која запошљава 7500 широм света и има промет од 1,1 милијарди на годишњем нивоу.

Свако мерење вршено је у трајању од 10 минута.



Слика 17 – Мерење буке на локацији код Студентског дома

Са уређаја су подаци пребачени коришћењем официјалног Brüel & Kjær софтвера за пост-процесирање података. Добијени су следећи резултати:

- Раскрсница код Студентског дома: **70,1 dB**,
- Студентски културни центар: **71,9 dB**,
- На раскрсници ул. Елизабете Рос и Краља Милана IV: **68,5 dB**.

Након пребацивања података са уређаја у рачунар, коришћењем официјалног Brüel & Kjær уређаја, добијају се следећи подаци о спроведеном мерењу. Они садрже број мерног места, време и датум мерења, дужину мерења, највишу измерену вредност, ниво звучног притиска измерене *импулсне* буке и просечну вредност измерене буке (Слика 18).

Measurement	Start Time	Stop Time	Elapsed Time	LAeq [dB]	LCpeak [dB]	LAFmax [dB]	LAFmin [dB]	Overload [%]
► Total	9.9.2017 14:33:08	9.9.2017 14:43:10	00:10:02	47,5	102,5	70,6	38,6	0,0

Слика 18 – подаци мерења уређајем Brüel & Kjær

Фокус овог рада ће бити на раскрсници код *Студентског дома*, на анализи постојећег стања саобраћаја на овој раскрсници и буке коју он генерише, као и на потенцијалним реформама које би се могле спровести у циљу побољшања утицаја на околину.

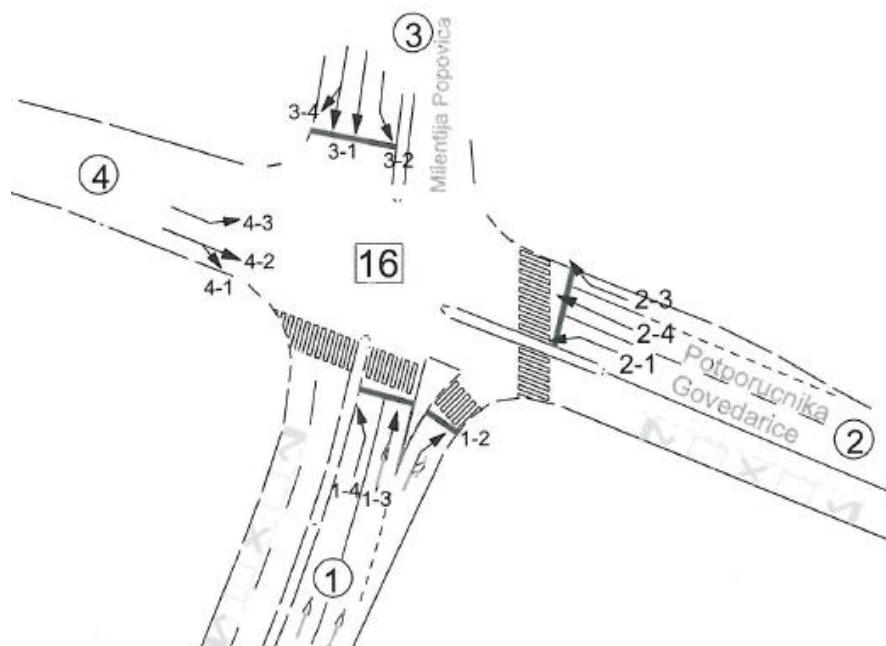
5.3. Обрада података о фреквенцији саобраћаја

Софтвер qGIS, чији је plug in opеNoise основно оруђе које се користи у овој студији, ради прорачунавања нивоа буке у одређеним тачкама, захтева информације о емитерима буке. У овом случају, највећи емитер буке је саобраћај, о коме софтвер захтева информације о:

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

Недавно спроведен пројекат *Бројање саобраћаја 2017*, у организацији ЈКП „Урбанизам“ је омогућио доступност информацијама о фреквенцији саобраћаја на најважнијим и најпрометнијим раскрсницама у граду, бележење врста возила које се крећу и најпожејнијих смерова возача. Резултати овакве студије се користе за израду ГУП⁶ - а, јер дају увид у кретање људи, делове града који су им жељена дестинација, те дефинишу потребну путну инфраструктуру. Резултати се такође користе као параметар при уређењу тока саобраћаја, дужине трајања зеленог светла на семафорима и тд.

За раскрсницу код Студентског дома, лист студије је приказан на Слици 19. На њему су могући правци кретања нумерисани и на основу те типологије је бележен број возила за сваки од ових праваца.



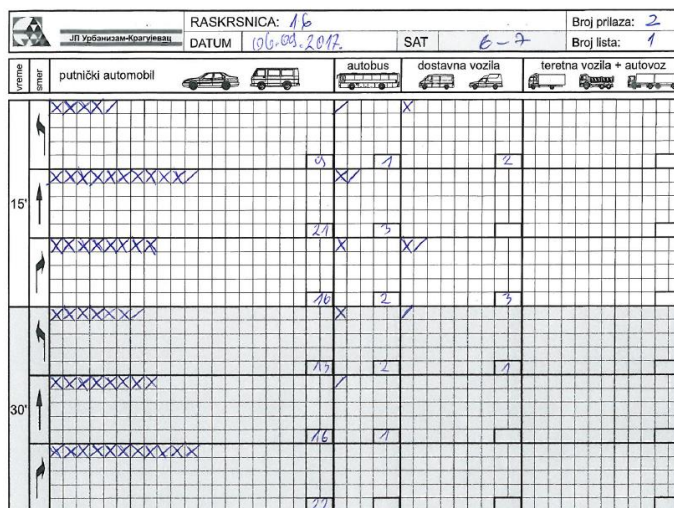
Слика 19⁷ – Скица раскрснице са нумерисаним правцима кретања возила

⁶ ГУП – Генерални урбанистички план – документ који дефинише развој градске инфраструктуре

⁷ Слика 18 и 19 припадају документација пројекта Бројање саобраћаја 2017. којој је приступ обезбедило ЈКП „Урбанизам“

Запослени у ЈКП “Урбанизам” заједно са ђацима Политехничке школе, мерили су проток саобраћаја у јутарњим и поподневним часовима, од 6 часова до 9 часова ујутру и поподне од 14 часова до 17 часова, у интервалима од по 15 минута.

Један од испуњених извештаја о броју возила и правцима кретања за улицу Потпоручника Говедарице за два интервала од 6 – 6.15 часова и од 6.15 – 6.30 часова изгледа као на слици 20:



Слика 20 – приказ броја и врсти возила забележених у два интервала

Како би се израчунао број возила који утиче на буку код Студентског дома, са Сlike 11 може се закључити да су то возила која долазе из следећих нумерисаних праваца: 1-2, 1-3, 1-4, 2-1, 2-3, 2-4, 3-1, 3-2, 3-4, 4-1, 4-2, 4-3. Како софтвер qGIS прорачунава нивое буке на основу фреквенције возила у интервалу од једног часа потребно је сабрати четири интервала мерења која је спровео ЈКП „Урбанизам“. На тај начин ће се израчунати број возила која долазе из сваке од четири улице: Радоје Домановић, Краља Милана IV, Потпоручника Говедарице и Милентија Поповића, у интервалу од сат времена.

Сабирањем броја возила из ових праваца, а у временском интервалу од 14 – 15 часова, долази се до података да је из улице *Радоја Домановића* раскрсници приступило:

- 781 аутомобила,
- 5 аутобуса,
- 76 продужених возила,
- 42 камиона.

Из улице *Краља Милана IV*, у интервалу од сат времена, до раскрснице је стигло:

- 310 аутомобила,
- 5 аутобуса,
- 1 продужено возило,
- 23 камиона,

Сабирањем возила која путују улицом *Милентија Поповића* до раскрснице, добијају се следећи подаци:

- 738 аутомобила,
- 9 аутобуса,
- 25 продужена возила,
- 46 камиона.

Из улице *Потпоручника Говедарице*, раскрсници је приступио следећи број возила:

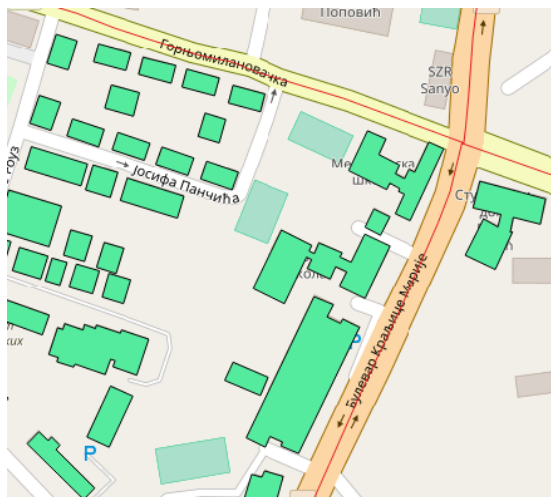
- 811 аутомобила,
- 19 аутобуса,
- 13 продужених возила,
- 12 камиона.

Када се број ових возила сабере, добија се финална бројка од **2755** лаких и **161** тешко возило који су у интервалу од 14 до 15 часова прошли кроз раскрсницу.

5.4. Обрада података у софтверу qGIS

Употреба qGIS plug in-a *openNoise*, којим се може прорачунати ниво буке у одређеним тачкама које се налазе у зони утицаја буке из саобраћаја или индустријских постројења, подразумева доступност података о промету саобраћаја, који су обрађени у претходном поглављу.

Након дефинисања координатног система, формира се нови лејер, у виду *Open Street Map*-е, која приказује улице и објекте у Крагујевцу. Овај лејер користимо за формирање друга два лејера који морају бити дефинисани у истом координатном систему. Тип првог лејера *Објекти* је дефинисан као полигон, и њиме су контурисани објекти у околини раскрснице. Други лејер *Путеви* је дефинисан као линија и означава саобраћајнице. Пројекат у qGIS-у са додатим лејерима изгледа као на Слици 21:



Слика 21 – Блок са уцртаним објектима и саобраћајницама

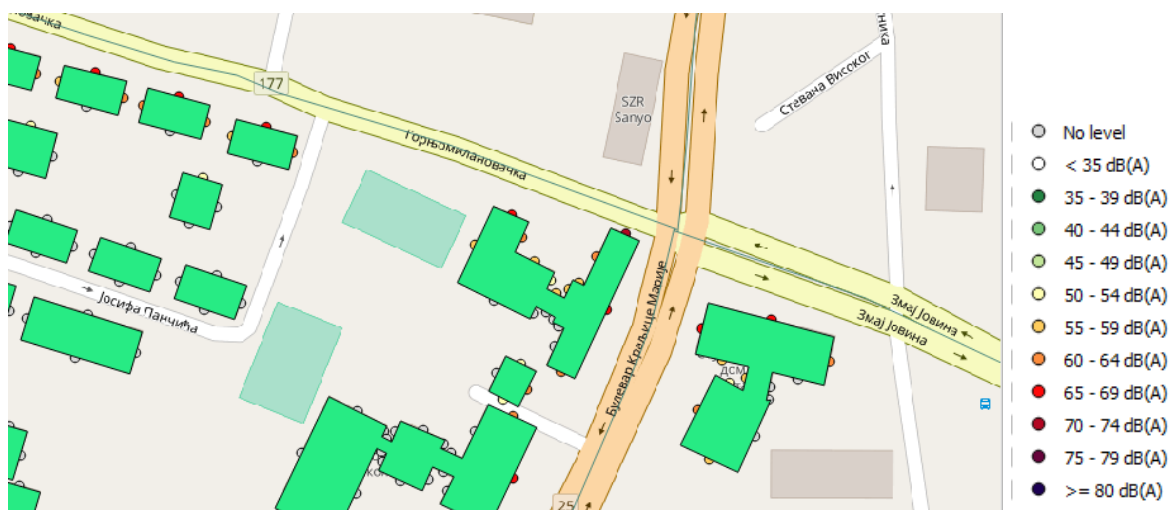
Првенствено се у табелу атрибута лејера за путеве (*Roads*) морају уписати карактеристике саобраћаја који се одвија на свакој од ове четири улице. То подразумева уписивање броја лаких и тешких возила (у интервалу од сат времена кроз сваку од улица), као и просечних брзина једних и других. Попуњена табела атрибута изгледа као на слици 22.

	id	Putevi	br_lakih	br_teskih	brz_lakih	brz_teskih
1	1	mil popovica	784	55	40	30
2	2	rad dom	857	47	40	30
3	3	pot gov	824	31	40	30
4	4	kralja mil	301	28	40	30

Слика 22 – Попуњена таблица атрибута са бројем возила

Након покретања plug in-a *opeNoise*, првенствено се мора креирати *Reciever points*, односно тачке за које софтвер прорачунава нивое буке. Оне се аутоматски креирају у правцу средине фасаде објекта, на 0,1 метар од фасаде, кликом на *Create receiver points*.

Следећа опција коју нуди *opeNoise* plug in, јесте израчунавање нивоа буке, која настаје од саобраћаја или од неког другог извора. Како је у случају ове раскрснице генератор буке саобраћај, логично се бира *Road source*. Затим се дефинишу карактеристике саобраћаја, просечне брзине возила, динамика саобраћаја као *континуална*, подлоге као глатке, а потом се покреће прорачунавање нивоа буке у тачкама које су дефинисане као *Reciever points*, које представљају референтне тачке за мерење нивоа буке. Ове тачке сада добијају другу боју, која описује ниво буке овим тачкама (Слика 23).



Слика 23 – Ниво буке у референтним тачкама у интервалу 14 – 15 часова

Софтвер је дакле, прорачунао да се ниво буке на фасади код Студентског дома креће између 70 и 74 dB. Вредност буке која је измерена уређајем за мерење нивоа буке је 70,9 dB, што је унутар оквира добијених нумеричким путем.

Map of Sofia, Bulgaria, showing noise levels. The map displays various buildings and streets, with noise levels indicated by a color scale from light yellow (low noise) to dark red (high noise). A legend on the right side of the map provides the dB(A) ranges for each color. The map also includes street names in Bulgarian and a scale bar.

Noise Level (dB(A))	Color
No level	Light Yellow
< 35 dB(A)	Yellow
35 - 39 dB(A)	Light Green
40 - 44 dB(A)	Green
45 - 49 dB(A)	Light Blue
50 - 54 dB(A)	Blue
55 - 59 dB(A)	Light Purple
60 - 64 dB(A)	Purple
65 - 69 dB(A)	Dark Purple
70 - 74 dB(A)	Red
75 - 79 dB(A)	Dark Red
>= 80 dB(A)	Black

OpenStreetMap

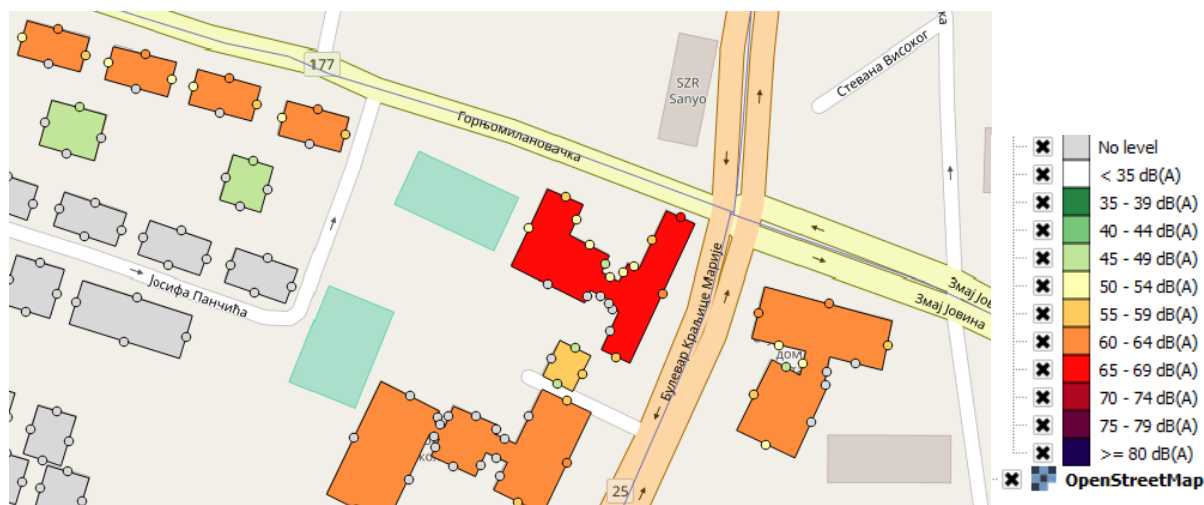
Нажалост, ови објекти који су најугроженији буком једне од највећих раскрсница у граду, спадају у објекте у којима бука не би требало да пређе 50 dB, по законској регулативи. Овакав ниво буке је последица недостатка *заобилазнице* око града (чија се изградња планира већ неко време), те свакодневног промета тешких возила, и значајно већег броја лаких возила, него што би то био случај када би заобилазница постојала.

Вредности који се добијају у овом случају су значајно ниже од претходних, што само потврђује неопходност заобилазнице. На слици 25 се уочава да боја реферетних тачака на само једној страни једног објекта окренутом ка улици, досеже интервал од 65 до 69 dB, и то онде где је досезала интервал 70 до 74 dB у присуству тешких возила. Како је позната чињеница да разлика од 3 dB значи да је ниво звучног притиска два пута мањи, односно звук два пута тиши, може се видети значај који би имала оваква врста реформације саобраћаја.



Слика 25 – добијене вредности нивоа буке у референтним тачкама у случају изузимања теретног саобраћаја

Након додељивања нивоа звучности објектима у близини раскрснице, уочава се да је једино зграда Медицинске школе са домом ученика прелази ниво буке од 65 dB. Редуковањем броја лаких возила, аутомобила који се крећу овим улицама, спровеле би се значајније мере реформе урбане средине.



Слика 26 – Нивои звучности објеката у случају изузимања теретног саобраћаја

На светском нивоу, ограничавање приступа тешких возила централном градском језгру јесте један од најважнијих метода за уређивање и контролу саобраћаја. Разлози за уредбе овакве врсте су:

- заштита путне инфраструктуре,
- превентовање или заштита заједнице од утицаја буке, загађујућих честица и других полутаната који се јављају онде где се одвија саобраћај,

- заштита безбедности заједнице која се суочава са употребом тешких возила на путевима и у условима саобраћаја који нису предвиђени за њихов пролаз.

Не постоји ниједан пропис града Крагујевца о дозвољеној тежини возила које се може наћи на градским улицама.

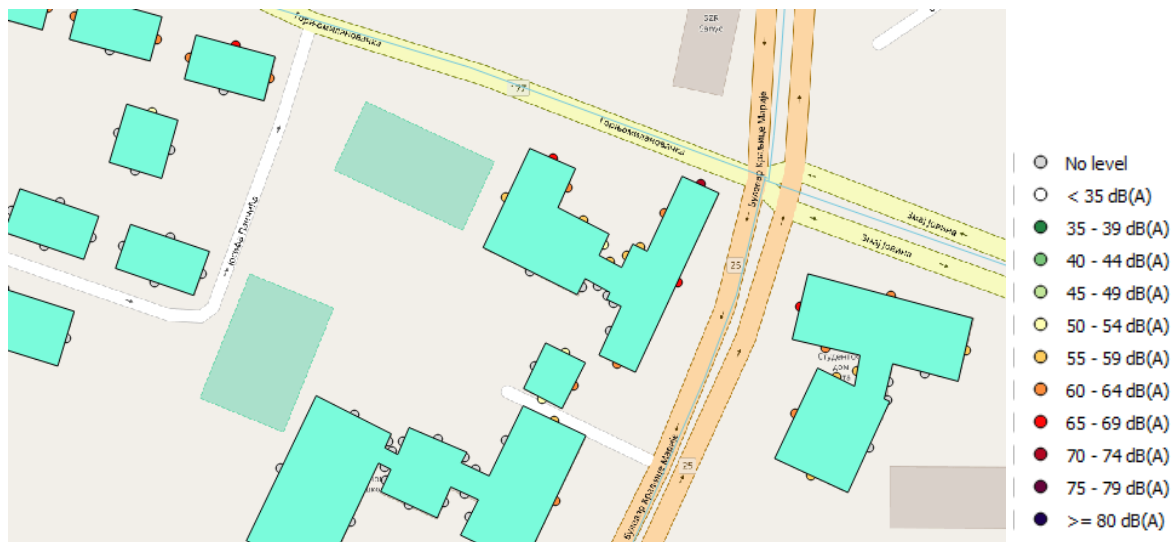
У току јутарњих часова, између 7 и 8 сати, када људи иду на посао, возе децу у школу или обданиште, велики број возила је на улицама града. Како би се прорачунао ниво буке на раскрсници код Студентског дома у ово доба, прво се мора израчунати број возила у свакој од улица које оформљавају ову раскрсницу.

У интервалу од 7 до 8 часова, кроз ове четири улице је прошло:

- Радоје Домановић: 781 лаких возила, 33 тешка возила,
- Милентије Поповић: 938 лаких возила, 44 тешка возила,
- Потпоручника Говедарице: 568 лаких возила, 14 тешких возила,
- Краља Милана IV: 354 лаких возила, 29 тешких возила.

Може се закључити да кроз ову раскрсницу прође **2641** лаких возила и **120** тешких возила, што чини незнатну разлику у броју лаких возила, али велику што се тиче тешких возила, у односу на промет од 14 до 15 часова.

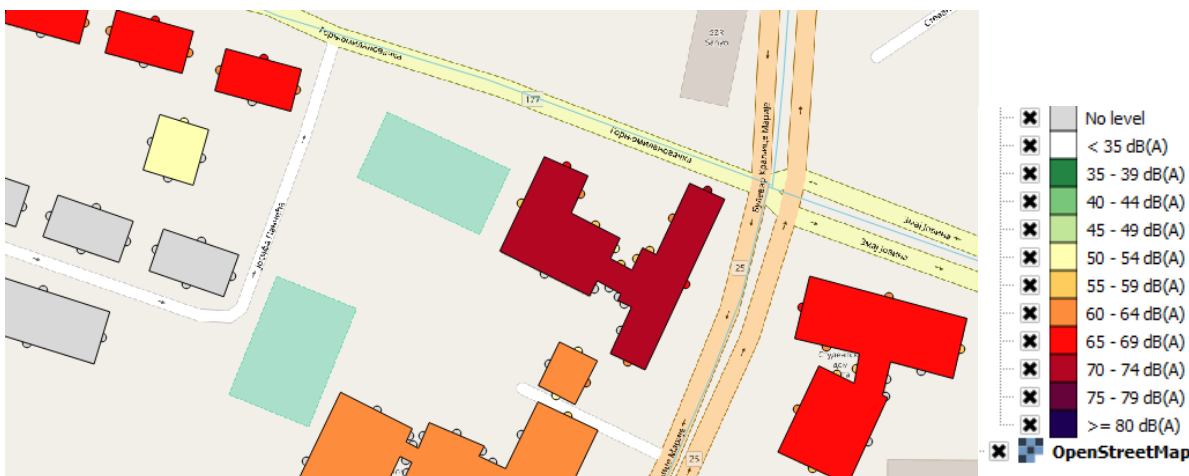
Уношењем нових података у софтвер, обезбеђује се увид у то како саобраћајна бука делује на околне објекте у јутарњим часовима.



Слика 27 – Ниво буке у референтним тачкама у интервалу од 7 - 8 часова

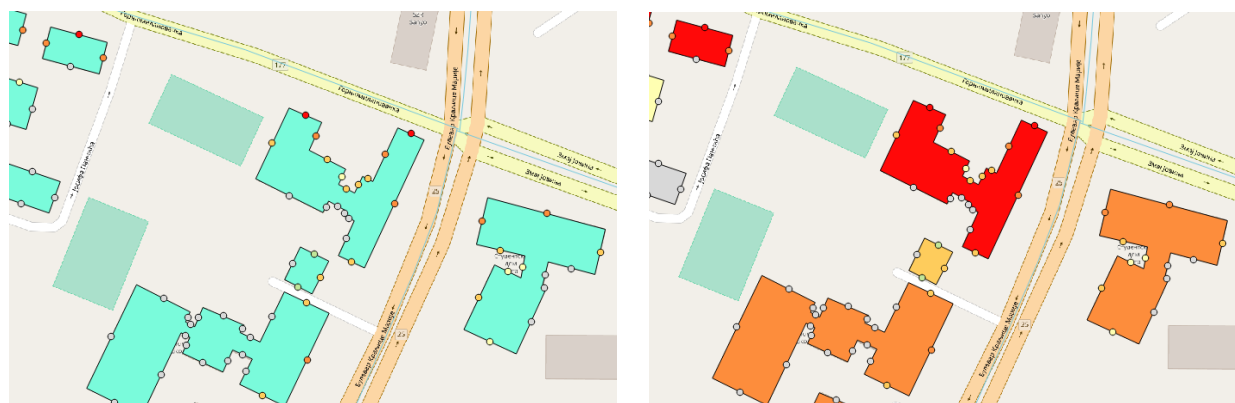
Ниво буке у референтним тачкама објеката не одудара значајно од нивоа који је забележен у поподневном интервалу, али ипак можемо констатовати промену нивоа буке на фасади Студентског дома оријентисаног ка улици Потпуковника Говедарице. Као и у првом случају, најугроженији је објекат Медицинска школа са домом ученика, коју погађа бука од 70 до 74 dB.

Уколико се прорачунава ниво бучности зграда, доћи ће се до закључка да је Економска школа једну класу ниже него у поподневном мерењу, те је изложена максималном нивоу буке од 60 до 64 dB (Слика 28). Студентски дом, Медицинска школа са домом ученика, као и резиденцијалне зграде дуж улице Краља Милана задржавају свој ниво бучности. Може се контатовати да је ниво буке извад прописаних норми, као и да ова бука погађа деликатна места за чије је функционисање умерена изложеност буци од кључног значаја.



Слика 28 – Нивои звучности објеката у интервалу 7 – 8 часова

Нужност ограничавања присуства тешких возила унутар градског језгра је поново доказана прорачунавањем нивоа буке у случају њиховог одстрањења. У том случају ниво буке који погађа Студентски дом остаје у опсегу 60 – 64 dB и нивои звучности објеката изгледају као на слици 29.



Слика 29 – нивои буке у реферетним тачкама и нивои бучности објеката

Пракса је у свету забранити приступ шлеперима и возилима изнад 4 тоне градском језгру у интервалу јутарњих и поподневних саобраћајних застоја и тиме растеретити саобраћај за раднике који у то време иду или се враћају са посла. У Индији и Кини мере повећања безбедности, те контроле штетних емисија и буке иду до те мере да је приступ тешким возилима граду омогућен само у интервалу од 00.01 до 6.59 ујутру.

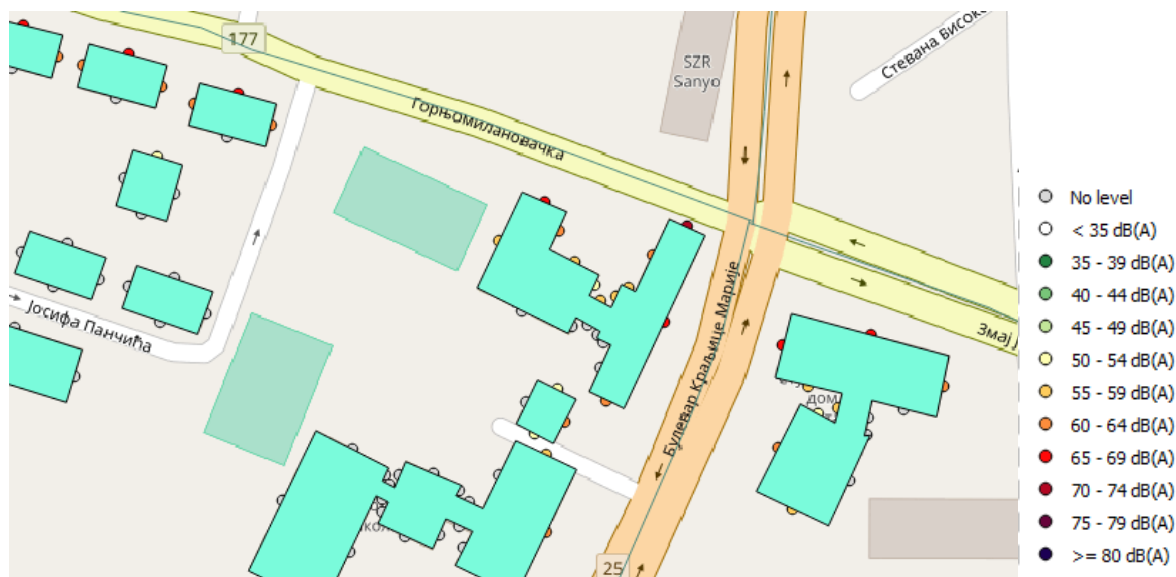
Како би се увидео смер развоја градског саобраћаја, у овом делу рада биће рекреирана изложеност објеката буци саобраћаја на овој раскрсници из 2007. године. Ово је могуће, јер је ЈКП „Урбанизам“ обезбедио приступ подацима и фреквенцији саобраћаја од пре једне деценије. Првенствено ће се обрадити подаци о протоку возила од 14 до 15 часова.

Из улица које оформљавају раскрсницу, приступио је следећи број возила:

- Радоје Домановић: 717 лаких и 37 тешких возила,
- Потпоручника Говедарице: 955 лаких и 23 тешка возила,
- Милентија Поповића: 619 лаких и 102 тешка возила,
- Краља Милана IV: 298 лаких и 30 тешких возила.

Када се ово сумира, добија се коначан број возила која су прошла кроз раскрсницу, а то је **2589** лаких и **192** тешка возила. Овај број возила је веома сличан статистици из 2017. године, са тим што је број тешких возила који долази из правца улице Милентија Поповића, био значајно већи.

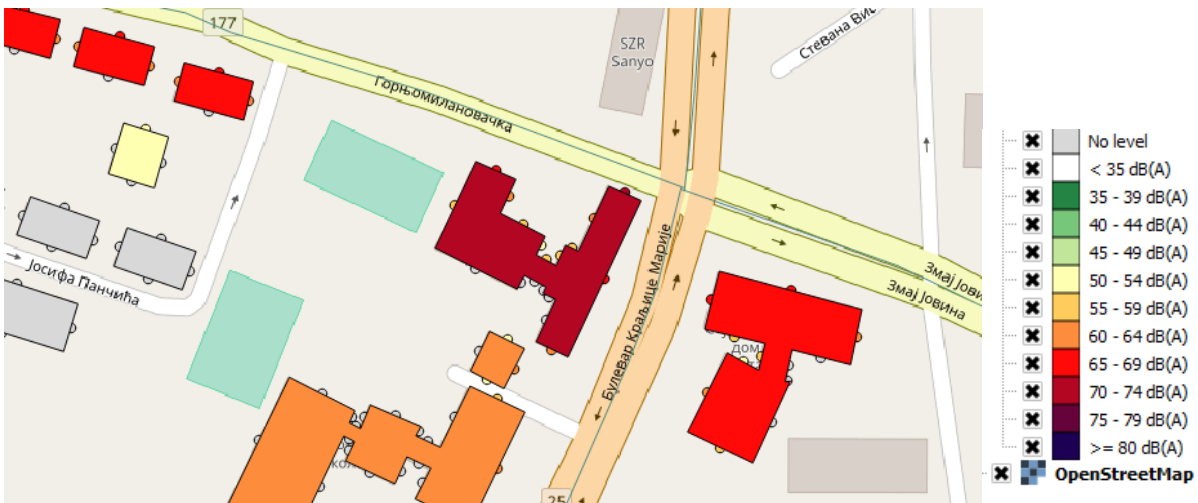
Обрадом података, референтним тачкама на објектима, додељени су следећи нивои.



Слика 30 – ниво буке у референтним тачкама и интервалу 14 – 15 часова, 2007.

Нивои буке у референтним тачкама су готово идентични, међутим, тачка на фасади Економске школе је променила боју, што значи да се њен ранг спустио за један ниво, те је бука размере 60 до 64 dB. Може се закључити да ово има везе са бројем аутомобила, који је у овој улици 2007. године био мањи за **140** лаких и **12** тешких возила.

Када се доделе нивои бучности зградама (Слика 31), јасно је приказано да ниво буке у згради Економске школе ни у једној тачки не прелази 64 dB.



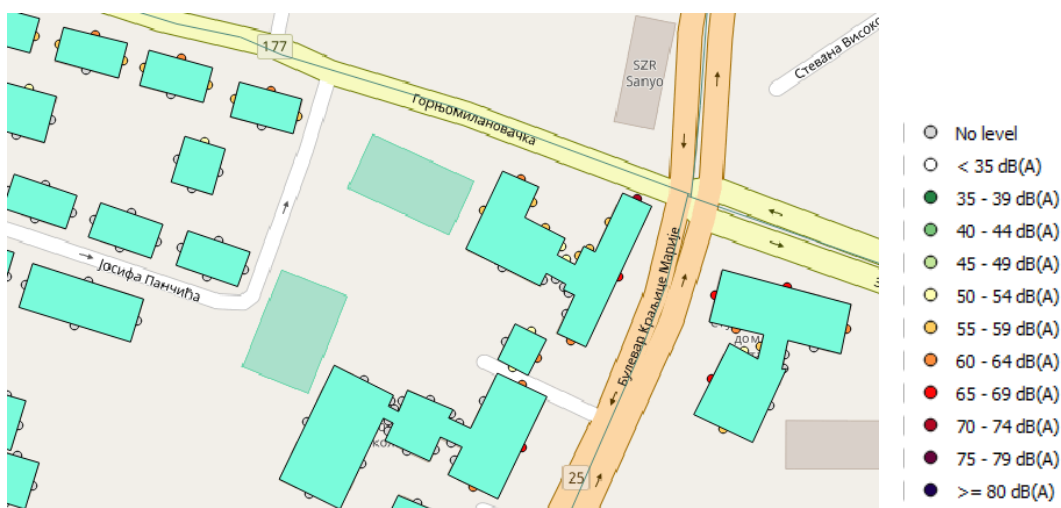
Слика 31 – Ниво зvučnosti објеката и интервалу 14 – 15 часова, 2007

Попут анализе утицаја тока саобраћаја на ниво буке у јутарњим часовима за 2017. годину, сада ће бити урађена анализа која одговара току саобраћаја у интервалу од 7 до 8 часова у 2007. години.

Број аутомобила која приступају раскрсници из различитих улица, у интервалу од 7 до 8 часова је:

- Радоје Домановић: 833 лаких и 56 тешких возила,
- Потпуковника Говедарице: 490 лаких и 20 тешких возила,
- Милентија Поповића: 714 лаких и 56 тешких возила,
- Краља Милана IV: 300 лаких и 15 тешких возила.

Поменуто значи да је кроз раскрсницу прошло **2377** лаких и **147** тешких возила. У поређењу са овим временским интервалом од десет година касније, у 2007. години је број лаких аутомобила био мањи, али да је број тешких возила био процентуално значајно већи. Који су нивои буке додељени референтним тачкама, приказано је на слици 32.

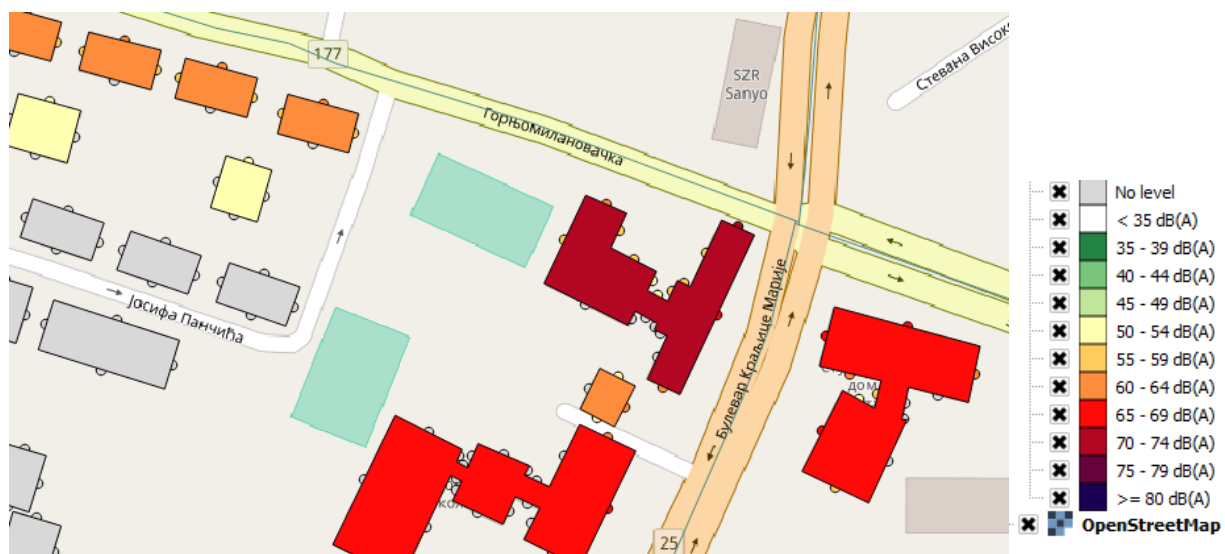


Слика 32 - ниво буке у референтним тачкама и интервалу 7 – 8 часова, 2007

У овом случају, дуж улице Радоја Домановића, све референтне тачке оријентисане ка улици су изложене буци од 65 до 69 dB, што сведочи о великој оптерећености саобраћаја. И заиста, уколико би се упоредили бројеви возила из претходно обрађених случајева, примећује се да је број превенствено тешких возила, увећан. Примећује се и растерећење објеката дуж улице Краља Милана IV, па тако изложеност резиденцијалних објеката буци не прелази 64 dB.

Када се објектима доделе нивои бучности, јасно је да су објекти школа, Студентски дом и вероватно још пуно важних зграда дуж ових улица под утицајем прекомерне буке сигурно бар једну деценију. Медицинска школа је поново најугроженија, док се стање са резиденцијалним зградама дуж улице Краља Милана IV изгледа систематски погоршавало последњу деценију.

Слика зграда са додељеним нивоима бучности је приказана на Слици 33.



Слика 33 – зграде са додељеним нивоима бучности и интервалу 7 – 8 часова, 2007

Стање на пољу буке се на основу ове анализе, изгледа, погоршава из године у годину. Увођење реформи у домену организације саобраћаја је нужно, а ове чињенице су свесни и грађани и званичници из градске управе и људи запослени у ЈКП „Урбанизам“ и другим јавним службама. Иако већ постоје планови о реформама путне структуре, који се предлажу и најављују већ годинама уназад, на овом пољу се не дешава ништа значајно, чему је узрок најпре финансијска ситуација. Када се ови планови коначно спроведу у дело, стање унутар града ће се побољшати на нивоу саобраћаја, а и животне средине.

6. Закључак

Проблем буке се бележи, како у глобалним размерама, тако и у Крагујевцу. Овај рад представља осврт на дејство буке на животну средину и човека у њој, као и на важност контроле и ограничења тог дејства.

Директиве Европске Уније које регулишу загађење буком потичу 70 – их година, док је Србија овакав приступ буци заузела тек 2000 – те године. Оваква чињеница би могла да образложи стање животне средине, па је у Србији акустичко зонирање, предвиђено *Законом о заштити од буке у животној средини*, извршено тек неколико градова: Шабцу, Смедереву, Ужицу.

У овом раду је експерименталним мерењима уређајем Brüel & Kjær ознаке 2250 и нумеричким путем, коришћењем софтвера qGIS процењен утицај саобраћајне буке на објекте који су у близини једне од највећих раскрсница у граду – раскрснице код Студентског дома. Круцијални податак за овакву врсту нумеричког прорачуна јесте фреквенција саобраћаја, о којој су подаци обезбеђени на основу пројекта „*Бројање саобраћаја 2017*“, спроведеног од стране ЈКП „Урбанизам“. Коришћењем ових података као улазних, прорачунат је ниво буке који делује на суседне објекте у интервалу од 14 до 15 часова, који је у сагласности са нивоом буке измереним мерним уређајем Brüel & Kjær ознаке 2250. Исто је урађено за саобраћајни ток у јутарњим интервалима, од 7 до 8 часова. Резултати експерименталних мерења указују на изложеност објекта Медицинске школе са домом ученика буци опсега од 70 – 74 dB, и Студентског дома буци од 65 – 69 dB, што превазилази ниво буке прописан законом за овакве врсте објеката, а који одговара буци измереној експерименталним путем која износи 70,1 dB на овој раскрсници.

Након анализе постојећег стања, приступило се тестирању потенцијалних мера побољшања утицаја саобраћајне буке у близини ове раскрснице. Предложена мера јесте драстично ограничење промета тешких возила, одакле се као главни закључак истиче нужност изградње *обилазнице*, односно забране или ограничења кретања тешких возила улицама унутар града. При том се посебна пажња мора посветити објектима од значаја, које би требало посебно заштитити од буке, објекти попут школа, болница, студентских домова, домова за старе итд. Многи од ових објеката су, због лоше пројектоване путне инфраструктуре и управљања саобраћајним токовима, погођене буком великих саобраћајница. Растерећење града буком се може остварити искључиво реформом путне инфраструктуре и строгим контролом токова саобраћаја. Изградњом обилазнице, ниво бучности најугроженијих објеката би се смањио за класу, па би Медицинска школа са домом ученика у интервалу од 14 до 15 часова била изложена буци од 65 – 69 dB, а Студентски дом буци од 60 до 64 dB. Анализом утицаја саобраћајне буке на ову раскрсницу из 2007. године, закључује се да се стање буке у граду погоршава.

Проблем буке се више не сме сматрати маргиналним, јер бука свакодневно утиче на човека, а изглед су да ће овај утицај јачати. Технике и јавна деловања у циљу смањења буке морале би да држе корак са појачаном моћи и свеприсутношћу машина, које динамика и стил модерног живота узгаја.

Литература

- [1] Class notes, интернет страница,
<http://classnotes.org.in/class-9/sound/longitudinal-waves/>
Преузето: 25.06.2017
- [2] Презентација “Gross anatomy of the ear”, интернет страница
<https://www.slideshare.net/Lucidante1/gross-anatomy-of-the-ear>
Преузето: 10.08.2017.
- [3] Шаш, Елвира, „*Заштита од комуналне буке*”, Природно – математички факултет, Универзитет у Новом Саду, дипломски рад, 2007.
- [4] Шлабек, Ловро „*Модерне технологије у функцији паметних градова*“, Геодетски факултет, Свеучилиште у Загребу, дипломски рад, 2016.
- [5] Глишовић Ј., Милорадовић Д., Лукић Ј., Јанковић А., *Урбани Транспорт*, скрипта за предавања, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2017. Доступно на:
<http://moodle.mfkg.rs>.
- [6] Закон о заштити од буке (Сл. гласник РС, бр 36/2009 I 88/2010)
- [7] Правилник о садржини и методама израде стратешких карата буке и начину њиховог приказивања у јавности (Сл. гласник РС, бр 80/2010)
- [8] Правилник о методама мерења буке, садржини и обиму извештаја о мерењу буке (Сл. гласник РС, 72/2010)
- [9] Правилник о методологији за израду акционих планова (Сл. гласник РС, бр 72/2010)
- [10] Cirrus Research, интернет страница,
<http://www.cirrusresearch.co.uk/blog/2011/08/what-are-a-c-z-frequency-weightings/>
Преузето: 25.08.2017.
- [11] Правилник о методологији за одређивање акустичких зона (Сл. гласник РС, бр 72/2010)
- [12] Правилник о садржини и методама израде стратешких карата буке и начину њиховог приказивања у јавности (Сл. гласник РС, бр 80/2010)
- [13] Правилник о условима које мора да испуњава стручна организација за мерење буке као и о документацији уз која се подноси уз захтев за добијање овлашћења за мерење буке (Сл. гласник РС, бр 61/2011)
- [14] Уредба о индикаторима буке (Сл. гласник РС, бр 75/2010)
- [15] сајт Града Крагујевца, интернет страница,
http://www.kragujevac.rs/Ekoloski_bilten-324-1
Приступљено: 04.07.2017.
- [16] сајт Агенције за животну средину, интернет страница,
<http://www.sepa.gov.rs/>

Пристапљено 10.07.2017.

[17] Службени лист Европске Уније, интернет страница,
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32002L0049&from=EN>
Преузето 21.07.2017.

[18] сајт Министарства заштите животне средине, интернет страница,
<http://www.ekologija.gov.rs/dozvole-obraci/zastita-od-buke-i-vibracija/>
Преузето: 22.07.2017.

[19] Узуновић, Ратко, „*Заштита од буке и вибрација: менаџмент квалитетом и околином*“ - Београд : Лола Институт, 1997.

[20] Marathe, Pratap D. (2012) *“Traffic Noise Pollution”*

[21] QuantumGIS, интернет страница,
https://docs.qgis.org/2.2/en/docs/user_manual/
Преузето: 01.09.2017.

[22] Упутство за руковање, „*Преносни анализатор типа 2250*”

[23] Америчка агенција за заштиту животне средине, интернет страница,
<https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/clean-air-act-title-iv-noise-pollution>
Преузето: 30.08.2017.

[24] Амерички национални институт за здравље, интернет страница,
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16329800>
Преузето: 30.08.2017.

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

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

[27] Светска здравствена организација, интернет страница,
<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/data-and-statistics>
Преузето 20.08.2017.