

Утицај буке на животну средину у Републици Српској

Зоран П. Поповић, Предраг Илић

Сажетак: Ефекти штетног утицаја буке на човеково здравље су разнолики, од психичких манифестација до иреверзибилног оштећења чула слуха. Да би се спречили негативни утицаји на животну и радну средину, посебно у највише буком погођеним урбаним и индустријским местима, изградњи потенцијалних извора буке требало би да претходе процене и мерења буке на одређеној локацији. Тражење начина заштите од буке настале услед велике насељености и повећаног интензитета друмског саобраћаја и метода њене редукције, применом законских и техничких мера, главни је разлог најчешћег испитивања буке у највећем граду Републике Српске, Бањој Луци.

Осим саобраћајне буке, чији је ефекат на људско здравље доминантан, предикције су рађене и за усмерене бучне изворе, углавном повремено активне у урбаним срединама током различитих манифестација. Резултати добијени симулацијама пројектовани су на мапе буке, а потом су одређени положаји око извора иза којих се предвиђа прекорачење вредности у односу на референтне дневне нивое, прописане међународним стандардима, а у сагласности са националним правилницима.

Преглед података и анализа стања оптерећености животне средине у Републици Српској буком примарни је циљ овог поглавља.

Цитирање: Поповић ПЗ, Илић П (2023) Утицај буке на животну средину у Републици Српској. У: Илић П, Говедар З, Пржуљ Н (уредници) Животна средина. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LV:449–484

Cite as: Popović PZ, Ilić P (2023) Impact of noise to the environment in Republic of Srpska. In: Ilić P, Govedar Z, Pržulj N (eds) Environment. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LV:449–484

Приказане су мерне методе и алати за предикацију и детекцију више врста буке коришћени приликом утврђивања њених физичких штетности које, сходно начину живота, имају тенденцију перманентног раста.

Кључне ријечи: Заштита животне средине, бука, мапирање буке

13.1. Увод

Животна средина, као петокомпонентни систем сачињен од: атмосфере, хидросфере, литосфере, педосфере и биосфере (Михаиловић 2014), представља простор где живе и делују жива бића. Ова интеракција живе и неживе природе (разменом материје) чини екосистем. Директан утицај на живот људи има њихова интеракција са средином која их окружује, узајамна је и одвија се преко различитих фактора, међу којима су биолошки, хемијски и физички. У факторе са негативним утицајем на животну средину, а који су узрочници њене деградације, сврстани су: интензивна индустријализација, развој саобраћаја, пораст густине насељености становништва и интензивна урбанизација.

Човек ширењем зона својих активности погоршава услове живота и рада и они тада све мање задовољавају фундаменталне захтеве нормалног живљења. Природним процесима, али у последње време све интензивније и људском разноликом активношћу, животна средина се загађује уношењем свих врста штетних материја. Резултат тога су нежељене промене животне средине. Сразмерно рапидној деградацији животне средине повећавају се потребе улагања у напоре за њено очување и унапређење. Животна средина је сваки даном загађенија различитим врстама узрочника услед сталног развоја индустрије, саобраћаја и других делатности којима се човек бави (Barbosa et al. 2008; Прерадовић и сар. 2010; Илић 2015; Wang et al. 2020; Илић и Максимовић 2021; Zhanibekov et al. 2022; Radović et. al 2022). Све је мање неизмењене природе, у којој се одвијала еволуција када су жива бића била изложена оптималном и комплексном садејству еколошких фактора на развој живота. Одступање ових фактора (хемијских, биолошких, физичких...) од равнотежних угрожава егзистенцију и човека и осталих живих бића.

Све нежељене промене физичких, хемијских и биолошких својстава основних компоненти животне средине које неповољно делују на живот нарушавајући еколошке системе означене су као загађења, а јављају се у виду загађујућих материја (супстанције, поља) или загађујућих материја у различитим компонентама животне средине (Илић и сар. 2008; Ерић и сар. 2008; Илић и Јањуш 2008; Илић и сар. 2009; Илић 2009; Илић и сар. 2010; Alijagić et al. 2011;

Huremović et al. 2017; Savić et al. 2018; Luković et al. 2018; Ilić et al. 2018b; Fino 2019; Ilić et al. 2019; Radomirović et al. 2020; Ilić et al. 2022; Ćirišan et al. 2023).

Брже и обимније стварање добара, изградња нових саобраћајних веза и разноврснија примјена помоћних средстава и уређаја у свим гранама живота (домаћинства, привреда, пољопривреда и комунална средина) и многи други фактори који иду укорак са савременим друштвом омогућавају удобност живота, али истовремено утичу и на угрожавање здравља људи. Негативне посљедице тако осавремењеног живота, као што су бука и нејонизујуће електромагнетно зрачење, узрокују комплексна оштећења здравља, а јављају се у индустријски развијеним градовима али и уопште у урбаним срединама.

Активности које се предузимају за смањење ових физичких фактора и њихових штетних деловања у животној и радној средини, међу које спада континуална едукација и проучавање из угла различитих научних области те формулација и усаглашавање закона и прописа на глобалном нивоу, само су део напора који се чине за побољшање услова живота. Бука и електромагнетна зрачења су специфични, физички фактори загађења човекове животне средине у савременом добу са тенденцијом сталног интензивирања негативног утицаја у свету.

Светска здравствена организација дефинише здравље не само као одсутност болести или слабости већ и као стање потпуног физичког, менталног и друштвеног благостања. Стога висок ниво сметњи узрокованих буком и зрачењем треба сматрати важним фактором ризика пореклом из околине са негативним утицајем на здравље.

Звук се може описати као осциловање честица средине, које човек може регистровати чулом слуха, у опсегу фреквенција између 16 и 20000 Hz при различитим минималним интензитетима. Човеково ухо је најосетљивије у области између 2000 и 5000 Hz, када оно региструје најмање интензитета емитованог звука. Ове осцилације преносе се у виду механичких таласа, који путују од извора звука, а начин и брзина простирања зависи од еластичних својстава средине кроз коју звук пропагира (Штрбац и сар. 2019). До уха звук се најчешће преноси кроз ваздух. Звучни таласи могу се простирати кроз било који гас, течност или чврсто тело, односно кроз материјалну средину.

Бука се може дефинисати и као непријатан звук, нежељено емитован у атмосферу упркос штетним ефектима које може проузроковати (Singh 2006). Бука која се емитује као звук који може да проузрокује промене чула слуха и психолошке сметње сматра се загађењем (Штрбац и сар. 2019). У великим насељеним местима и градовима бука се углавном интензивира због

индустријализације, а јавља се као последица изостанка планирања стамбених, комерцијалних и индустријских површина, које ничу концентрисано и истовремено у некој области. Међу ефектима загађења буком истичу се:

- Константна бука утиче на ментално и физичко здравље човека, при чему је могуће да се деси контракција крвних судова, бледило коже, грчење мишића и раст крвног притиска.
- Звук високог интензитета емитован дужи временски период из индустријских зона, машина, летелица трајно оштећује слух.
- Различите акутне и хроничне физичке трауме јављају се услед перманентне али и повремене изложености звуку високог интензитета као што је индустријска бука. То су углавном проградијентни, ирепаратбилни и неизлечиви дегенеративни процеси. Расте број оштећених неуросензорних ћелија одговорних за пријем и преношење звучних утисака, а неретка последица је глувоћа (Аранђеловић и Јовановић 2009). Осим физичких, могуће су појаве и психичких болести, као што је абнормално снажна емоционална реакција на конкретне звуке, чак и неvezане за њихове физичке карактеристике. Негативне реакције на излагање људи звуку су разнолике, а особа може да доживи низ симптома са психофизичком подлогом (Рауповић 2020). Међу факторима који узрокују настанак физичке или психичке акустичке трауме су: интензитет буке (већи интензитет доводи до бржег оштећења слуха), дужина експозиције (степен оштећења расте са дужином експозиције), спектар буке (више фреквенције брже доводе до оштећења), карактер буке (временска променљивост и усмереност утичу на величину и прогресију оштећења слуха), индивидуална осетљивост, године старости, услови рада (рад на отвореном је мање ризичан), присуство других штетности и стање организма.
- Тренутне и повремене појаве буке (експлозије) могу да доведу до оштећења материјала, односно до пукотина услед напрезања.

Основни разлог за праћење, мерење, предвиђање и заштиту од буке јесте превенција и смањење њених негативних ефеката на животну средину. Осим загађења ваздуха, бука је један од основних проблема који утичу на квалитет живота у урбаним местима (Илић et al. 2018a). Упркос томе што је евидентан и све више присутан свуда у свету, на овај проблем се још не одговара адекватно (Barboza et al. 1995). Урбанизација, економски развој и моторизовани транспорт главни су извори буке са штетним ефектима на здравље. Због тога је процена нивоа буке у планирању изградње и пројектовања саобраћајница један од важнијих корака у редукцији њених

нежељених ефеката (Pozder 2012). У Бањој Луци, највећем граду Републике Српске, очекиван је али и потврђен повећан ниво буке у одређеним деловима града. Главни узрок тог повећања је саобраћај. Ово је био предмет неколико студија у којима је показана позитивна корелација између фреквенције саобраћаја и средњих вредности нивоа буке у Бањој Луци (Ilić et al. 2018; Божић и сар. 2018).

Проблем смањења буке на граничне вредности прописане законском регулативом захтева конкретне кораке, у које спадају системска истраживања заштите од буке те евалуације техничких могућности. То постаје питање оправданости алтернативних решења, због чега је неопходно наћи економски и социјално оптималну одлуку. Кад је реч о потенцијалним техничко-технолошком и законским мерама за редукацију градске буке, истичу се регулација саобраћаја ограничавањем интензитета брзине и селекцијом саобраћајних средстава која циркулишу кроз урбане зоне на основу функционалности и старости, обезбеђивање континуитета кретања изградњом кружних токова, усклађен рад семафора („зелени талас“) и ограничење времена и простора за изворе буке одређених карактеристика. Бука изазвана у друмском саобраћају зависи од брзине возила, проточности саобраћаја (добра проточност знатно смањује ниво буке), топографије терена саобраћајнице и метеоролошких услова. Повећава се када кретање возила саобраћајницом изискује промену брзине и снаге (у зони семафора). Незанемарљив утицај на повећање нивоа буке, осим брзине, има и категорија возила (мотоцикли, аутомобили, камиони, аутобуси).

Приликом пројектовања саобраћајница треба имати на уму законитост слабљења интензитета звука са растојањем детектора (слушаоца) од извора. Дистанцирање од извора буке и правилна оријентација стамбених и других објеката значајно могу да редукују буку, а то не изискује никаква додатна финансијска улагања. Снижавањем ограничења брзине кретања возила ниво буке се смањује за 2–4 dB, док возач својим понашањем може да утиче на смањење и до 5 dB. То значи да смањење буке није примарно условљено посебним економским улагањима.

Осим поменутих решења, за смањење буке у урбаним зонама потребно је истаћи и меру заштите у животној средини формирањем зеленог појаса од високог или средње високог растања или других адекватних биљних врста. На нивоу Републике Српске потребно је дугорочно, стратешко деловање на превенцији и смањењу буке и у насељима градова и у осталим местима, било да је реч о регулисању саобраћаја, одржавању манифестација или другим потенцијалним изворима.

Досадашња испитивања нивоа буке у Републици Српској била су углавном лоцирана у Бањој Луци. Тек у последње време врше се и на другим локацијама, међу којима су индустријске (Стојановић Бјелић и сар. 2022). За избор адекватне и најефикасније мере за смањење нивоа буке потребно је дефинисати стање у актуелној животној средини, анализирати могућности примене појединих мера и на концу донети релевантну одлуку.

Осим буке, додатна физичка штетност у животној средини је и електромагнетно зрачење. Спрегнута промена електричног и магнетног поља у простору током времена чини електромагнетно поље (ЕМП). Ова појава није локалног карактера, те се у виду електромагнетног таласа (ЕМТ) шири у простору преносећи енергију (Кагамаковић 2005). Ниво електромагнетног загађења праћен је рапидним развојем нових телекомуникационих технологија. Испитивања се врше углавном у кругу базних станица, носилаца телекомуникационих емисионих уређаја, али осим овог могуће је испитивати антене телевизијских и радио-станица оперативне у радиофреквентној области.

Електромагнетним смогом посебно су погођене густо насељене урбане зоне, каква је у Републици Српској несумњиво Бања Лука. У животној средини окружује нас све више извора ВФ електромагнетног зрачења, поготово у градским урбаним зонама, где је интензитет зрачења последица рапидног раста комуникационих сигнала (Poljak et al. 2002; Poljak 2003; Popović et al. 2019, 2021).

13.2. Бука, извори и законска регулатива

13.2.1. Звук и бука као физичка појава

Звук се јавља у еластичним срединама у облику механичких осцилација делова материјала, чија се динамика може описати деформацијом, померањем, брзином и убрзањем. Услов простирања звука је постојање материјалне средине. Основни услов третирања звука као нежељеног, односно буке, јесте постојање субјекта који га опажа и притом доживљава различите психофизичке сензације које за њега имају штетно дејство. Бука је један од главних узрока смањења квалитета живота људи, нарочито у урбаним срединама, где је константно присутна и утиче на многе аспекте свакодневног живота. Буку у животној средини или комуналну буку стварају сви извори нелагодног звука који се јављају у окружењу човека, а она се јавља у стамбеним и нестамбеним објектима и насељима. У комуналну буку не сврстава се бука која настаје на радном месту и у индустријским погонима.

13.2.1.1. Простирање звука

Звучни таласи се, зависно од правца осциловања честица у средини током простирања, класификују на лонгитудиналне (у правцу простирања), трансверзалне (нормалне на правац простирања), површинске (честице осцилују у граничном слоју између две средине), екстензионе (пропагирају у виду промене дебљине материјала) и флексионе (пропагирају у виду савијања материјала). Последња два типа настају у срединама где је једна димензија материјала занемарљиве величине у односу на другу(е), као на пример простирање кроз плочу и шипке.

Трансверзални звучни таласи настају осциловањем честица еластичних чврстих средина. Лонгитудинални таласи се јављају у свим врстама еластичних средина, укључујући и гасове, у којим честице осцилују у правцу простирања звука формирајући поремећаје кроз гас у виду промене густине и притиска. Површински талас представља комбинацију лонгитудиналних и трансверзалних звучних таласа. Због услова третирања звука као буке у животној средини у наставку ће бити разматрано простирање звучних таласа кроз ваздух (гасовиту средину). Пулс еластичне деформације средине у виду звучног таласа креће се брзином звука (c), а његова периодична природа описана је фреквенцијом (f) или периодом (T) осциловања и таласном дужином (λ). Сматрајући ваздух идеалним гасом, брзи поремећаји, као што су звучни таласи, могу се описати адијабатским процесом, одакле се налази зависност брзине звука од температуре:

$$c = c_0 \sqrt{\frac{T}{273}},$$

где је T апсолутна температура а c_0 брзина звука на $T = 273K$ ($\theta = 0^\circ\text{C}$). Преласком на температуру θ изражену у $^\circ\text{C}$ добије се линеарна зависност брзине звука од температуре:

$$c = 331 + 0.6\theta,$$

где је брзина $c_0 = 331 \text{ m/s}$ брзина звука у ваздуху при нормалном атмосферском притиску на температури 0°C .

Извор звука који осцилује изазива промене густине у окружењу. Крећући се у једном смеру, извор потискује честице непосредно уз њега и у том слоју долази до згушњавања честица, које гурају следећи слој, тако преносећи поремећај са једног слоја на други. Кретањем извора у супротном смеру, непосредно уз извор, јавља се празнина која се попуњава честицама из суседног слоја. Максимално одступање честица од њиховог равнотежног положаја током осциловања у еластичном медијуму назива се амплитуда померања (A) (Young

et al. 2012). Током простирања звука у ваздуху долази до флукуације притиска у односу на атмосферски (p_a), а његове варијације су синхронизоване са променом положаја честица. Осим еластичним особинама средине (ваздуха), максимални притисак (амплитуда притиска) сразмеран је амплитуди померања честица, а зависи и од таласне дужине. Поремећаји у простору се крећу у облику таласног фронта површине на којој се честице током осцилирања налазе у истој фази. У близини извора таласни фронт има приближно свој облик, док на великим удаљеностима од извора звука постаје раван.

13.2.1.2. Интензитет звука

Сходно природи таласа, звучни таласи врше трансфер енергије од извора до неког удаљеног места. Енергију коју носи звучни талас погодно је описати преко интензитета звука (I). Интензитет звука је временски усредњена учесталост транспорта енергије по јединици површине таласног фронта нормалној на правац пропагације, чиме је одређена енергија честица еластичне средине која се простира заједно са таласним фронтом звука.

Сразмерно повећању површине таласног фронта од извора звука смањује се његов интензитет. Осим количине енергије која протекне кроз јединичну површину, интензитет је и векторска величина којом је одређен и смер протока. Просторна расподела вектора интензитета звука представља правце простирања и количину енергије (Прашчевић и сар. 2018).

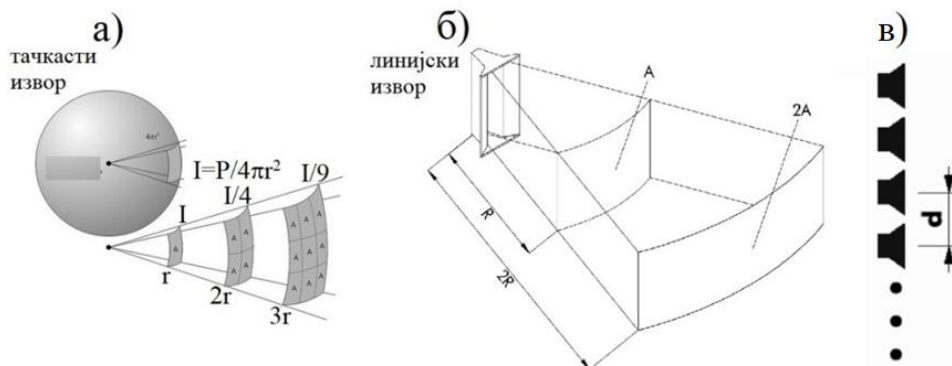
Енергија звучног таласа потиче са извора звука и директно је сразмерна снази звучног извора. Она се дефинише као енергија која по јединици времена пролази кроз произвољну површину која обухвата извор.

Тачкаст извор емитује сферне звучне таласе. Он представља најпростији модел, често коришћен у проценама, али и као компонента сложенијих модела извора звука. Геометријски опис овог модела, који емитује звук равномерно у свим правцима, јесте сфера (радијуса r_s) чији је радијус много мањи од таласне дужине емитованог звука $r_s \ll \lambda$. Према дефиницији, интензитет сферних таласа емитованих са извора снаге P_0 на растојању r биће:

$$I = \frac{P_0}{4\pi r^2}.$$

Из дате релације налазимо да интензитет звучних таласа, емитованих изотропно, опада са квадратом растојања (Сл. 13.1а). Ова законитост је веома важна из аспекта заштите од буке као једна од њених мера. У случају пропагације таласа преобладајуће у једном смеру, интензитет опада много

спорије од $1/r^2$, а не важи ни у затвореним просторијама, где постаје релевантна рефлексија.



Сл. 13.1. Извор звука: а) тачкасти - интензитет опада са $1/r^2$, б) линијски, в) конструкција линијског система (C4 System Specifications)

Fig. 13.1. Sources of sound a) point sources where intensity of emitted sound decreases with $1/r^2$, b) line source, c) line system construction (C4 System Specifications)

Реални извори само под одређеним условима и одређеним фреквенцијским опсегом могу емитовати звук у свим правцима подједнако. Они су махом усмерени извори и код њих количина емитоване енергије кроз неку површину зависи од њеног правца у односу на извор (Сл. 13.16). Правац где је зрачење највеће назива се главна оса извора звука, док је дуж осталих правца оно мање. Величина која описује промену интензитета са правцем простирања назива се фактор смера (Γ) и одређује усмереност извора:

$$\Gamma = \frac{I(\theta)}{I_0},$$

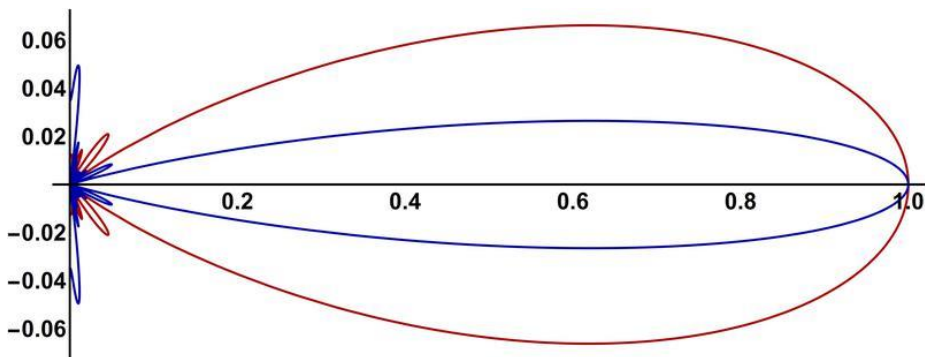
где је су I_0 и I интензитети на истој удаљености, и то редом у правцу главне осе звука дуж које се узима $\theta = 0^\circ$ и под неким углом θ у односу на тај правац. Усмереност извора графички се приказује дијаграмом фактора.

Различите форме звучничких система са контролисаним облицима усмереног зрачења у простору могуће је моделирати помоћу групе тачкастих звучних извора. За постизање што веће усмерености данас су најчешће коришћени звучнички стубови, који се састоје од низа једнаких звучника, поређаних дуж линије. Линијски систем извора (Сл. 13.1в) користи се за озвучавање великих површина током одржавања јавних манифестација (нпр. концерата). У општем случају линијски низ звучничких стубова направљен је

од серије звучника таласног фронта сферног облика, који се након одређене удаљености преклапају чинећи сложено звучно поље. Усмереност оваквог линијског система зависи од његове конструкције, броја звучника n и размака између њих d , затим емитоване фреквенције f и брзине звука у ваздуху c (тј. температуре ваздуха), а изражава се преко зависности:

$$\Gamma(\theta) = \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi f}{c} d \sin\theta\right)}{n \sin\left(\frac{\pi f}{nc} d \sin\theta\right)} \right)^2.$$

Осим геометријске зависности, броја и удаљености звучничких јединица, усмереност приказаног система директно зависи и од фреквенције. Под одређеним углом у односу на главну осу звучника и на истом растојању од њега интензитети ће се разликовати за звукове фреквенција 2000 и 5000 Hz (Сл. 13.2).



Сл. 13.2. Поларни графици усмерености линијског система сачињеног од 10 звучника у низу, међусобно удаљених 60 cm, за фреквенције 2000 Hz (црвена линија) и 5000 Hz (плава линија) (Студија 2018)

Fig. 13.2. Polar plot of line system sound, contains from 10 loudspeakers at the 60 cm distance, for 2000 Hz (red line) and 5000 Hz (blue line) (Студија 2018)

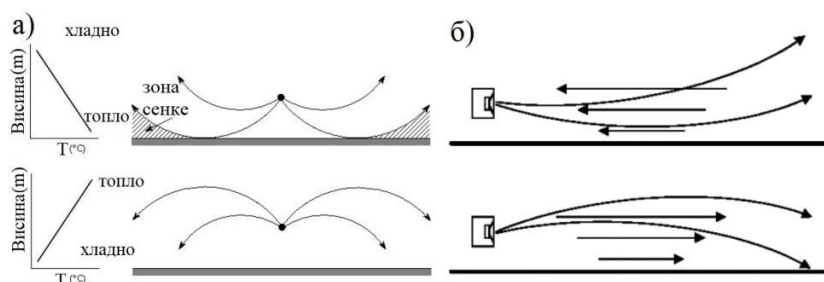
Промена енергије звучних таласа, а са њом и интензитета, могућа је услед појава које могу узроковати скретање правца простирања или само губитке енергије. Као последица наиласка звучног таласа на физичку баријеру јављају се појаве:

- Рефлексија, што подразумева наглу промену правца услед наиласка на препреку или дисконтинуитет проводне средине, при чему је рефлектовани угао једнак упадном.

- Дифракција се дешава на ивицама физичких препрека, на којима долази до савијања звучних таласа. Једна специфична илустрација дифракције је сужавање зоне сенке иза препреке, а друга је дифузија, када талас пада на отвор малих димензија у поређењу са таласном дужином.

Појава савијања правца или преламања звучних таласа на граници између две средине или услед нехомогености средине кроз коју талас пропада назива се рефракција. Правац простирања звука може бити савијен услед појаве температурног градијента (Сл. 13.3а) по висини или појаве ветра (Сл. 13.3б), што је некад неопходно узети у обзир приликом процене утицаја на животну средину.

Енергија звучног таласа губи се током простирања кроз ваздух преко вискозности (простирањем звука кроз уске цеви), одвођењем топлоте где материјали кроз које се звук простира преузимају део енергије ваздуха и на чујним фреквенцијама преко молекуларних губитака (водена пара делује каталитички).



Сл. 13.3. Савијање звучних таласа а) из тачкастог извора при супротним температурним градијентима, б) из усмереног извора дуж различитих смерова ветра (C4 System Specifications)

Fig. 13.3. Sound waves bending a) generated from point source during opposite direction of temperature gradient, b) generated from directed source in along different direction of wind (C4 System Specifications)

Простор у ком не долази до рефлексије звучног таласа назива се слободни простор. Ради једноставности, често су процене рађене под условом да не постоје рефлексије нити апсорпције прогресивног таласа који се удаљава од извора. У реалном случају овакви услови не постоје, већ представљају идеализацију ради поједностављења прорачуна. Под овим се подразумева да је простор у ком се простира звук у свим правцима без препрека. Идеални слободни простор може се реализовати само у лабораторијским условима,

при чему су зидови лабораторије покривени материјалима који ефикасно апсорбују звук. У најбољем случају, када не постоје препреке на путу таласног фронта, могућа је рефлексија од тло.

13.2.2. Ниво звука и сабирање кумулативног интензитета

Минимална вредност јачине звука које људско ухо може да чује назива се интензитет звука на прагу чујности (праг чујности). Ова вредност је индивидуална, а мења се и са временом и стањем органа слуха.

Праг чујности представља најнижи интензитет звука (звучни притисак) који људско ухо може да региструје, а зависи и од фреквенције. Представља се кривом прага чујности. Фреквенцијски опсег чујности људског уха је од 20 Hz до 20 kHz (Сл. 13.46). Експериментално је одређен, статистичким испитивањем младих и здравих особа. Праг чујности равних таласа фреквенције 1000 Hz у слободном простору износи:

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2.$$

Појава бола приликом великог притиска на бубну опну одређује горњу границу интензитета звука (Сл. 13.46).

Логаритамска осетљивост људског уха огледа се у потреби за адаптацијом приликом детекције звука, пошто су догађаји које региструје у великом распону интензитета, а њихов број није распоређен уједначено на тој скали. Прилагођавање чујности људског уха одвија се на великом опсегу између 10^{-12} W/m^2 (праг чујности) и 1 W/m^2 (праг бола). Ово су објективни разлози описа звука нивоом звука уместо интензитетом. Математички, изражава се у јединицама dB (децибел) као мера релативног интензитета посматраног у односу на праг чујности и дат је изразом:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0},$$

где је I интензитет звука а I_0 праг људске осетљивост.

За потребе објективне процене нивоа буке у животној и радној средини неопходно је узети у обзир све потенцијалне изворе и урачунати њихове доприносе. Тако је резултујући ниво звука I_R у некој тачки простора настао као резултат дејства n независних извора интензитета I_i (индексом i пребројавамо изворе) који емитују сложен звук, једнак збиру њихових доприноса у посматраној тачки:

$$I_R = \sum_i^n I_i,$$

одакле је ниво резултирајућег звука изражен редом преко интензитета или нивоа звука независних извора:

$$L_R = 10 \log \frac{\sum_i^n I_i}{I_0} = 10 \log \sum_i^n 10^{L_i/10}.$$

Кад је реч о појединачним изворима буке, у посматраној тачки простора бука је одређена само јачином. Уколико је реч о доприносу више независних извора, постаје релевантан просечан ниво у датој тачки, одређен мерењем или рачунским методама. Уз интензитет, важна карактеристика буке је њен спектар. На човека неће деловати исто два звука исте јачине а различитих фреквенција.

Са становишта превенције трајних оштећења слуха, али и превенције буке, важна карактеристика је трајање буке, због чега се у анализама за заштиту од ње разматра еквивалентни ниво буке. Ова величина представља буку просечног интензитета током одређеног временског интервала од t_1 до t_2 :

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L(t)/10} dt,$$

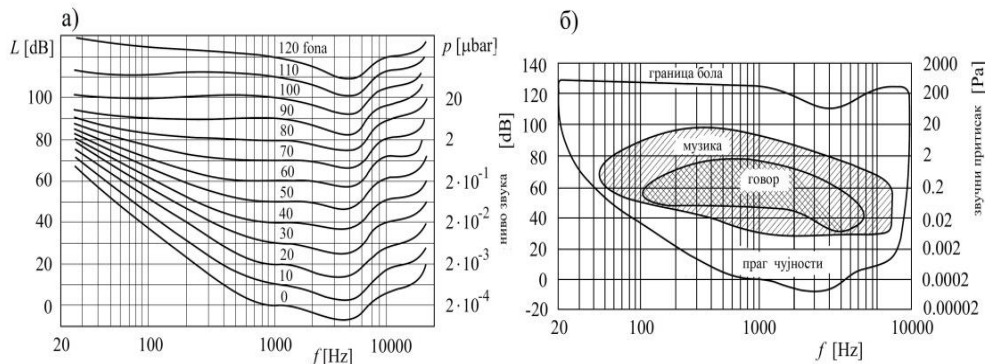
где је $L(t)$ временски зависан ниво буке током посматраног периода.

13.2.3. Гласност звука и референтне вредности

Због постојања разлике између објективних вредности јачине звука и субјективног доживљаја уведена је нова величина, субјективна јачина звука L [фон]. Субјективна јачина звука на 1000 Hz има исту вредност као објективна јачина звука. Осим од интензитета звука, субјективна јачина зависи и од фреквенције. За фреквенције изнад и испод 1000 Hz фонска и децибелска скала нису еквивалентне.

Субјективна јачина звука у фонима одређена је експериментално, мењањем нивоа звука одговарајућег тона све док субјективна оцена његове јачине није изједначена са субјективном јачином тона на 1000 Hz. На тај начин добијене су изофонске линије по Флечеру и Мансону без обзира на фреквенцију, помоћу којих се може наћи веза између објективне и субјективне јачине, односно фона и децибела и обрнуто (Прашчевић и сар. 2018).

Изофонске линије на вишим фреквенцијама су еквидистантне (међусобно растојање кривих је једнако), што указује на логаритамски карактер јединице фон (Сл. 13.4а).



Сл. 13.4. а) Изофонске контуре; б) чујно подручје човека (Карамарковић 2005)
 Fig. 13.4. a) Equal loudness contours, b) Region of human audibility (Карамарковић 2005)

Према међународним стандардима, у бучно је сврстан звук субјективне јачине 70–100 фона, а у веома бучно 100–120 фона и ту спадају музичке манифестације на отвореном. У реалним ситуацијама оптерећености животне средине буком, као што је случај са јавним манифестацијама, услови су обично такви да је звук дуготрајан и да је ниво (буке) променљив.

Удружења лекара европских земаља препоручују да прописане дужине трајања излагања буци према интензитету буду као што је у назначено у Таб. 13.1.

Таб. 13.1. Трајање изложености одређеним нивоима буке
 Table 13.1. Duration of exposure to the particular noise level

ЈАЧИНА БУКЕ	ДОПУШТЕНО ИЗЛАГАЊЕ
90 dB	8 ч/дан
92 dB	6 ч/дан
95 dB	4 ч/дан
100 dB	2 ч/дан
105 dB	1 ч/дан
110 dB	0,5 ч/дан
115 dB	0,25 ч/дан

13.2.3.1. Критеријуми за регулисање буке у Републици Српској и БиХ

За вредновање дозвољених вредности нивоа буке у животној средини у Републици Српској на снази је Правилник о дозвољеним границама интензитета звука и шума, усвојен у бившој БиХ још 1989. године (Правилник 1989).

У складу са тим правилником (Правилник 1989) утврђене су зоне у којима се мери ниво буке током дана и ноћи, изражен еквивалентним 15-минутним нивоима, са утврђеним горњим вредностима за шест зона (Таб. 13.2):

I болничка и лечилишна; II туристичко, рекреацијско-опоравилишна; III чисто стамбена зона, са васпитно-образовним и здравственим институцијама, јавним зеленим и рекреацијским површинама; IV трговачка, пословна, стамбена и стамбена зона уз саобраћајне коридоре и складишна без тешког транспорта; V пословна, управна, трговачко-занатска, сервисна (комунални сервис) зона и VI индустријска, складишна, сервисна и зона саобраћајног подручја без станова. Правилник налаже и мерење вршних нивоа L_{10} и L_1 , који представљају нивое буке прекорачене у трајању од 10%, односно 1% укупног мереног времена, током периода дан или ноћ. У Правилнику је одређено да се дневно мерење врши од 06.00 до 22.00 часа, а ноћно од 22.00 до 06.00 часова. За сваку специфичну средину и ситуацију граничним вредностима ограничава се потенцијално лош утицај буке на популацију у њој.

Граничне вредности су одређене на основу најнижих нивоа буке са утицајем на здравље (критични утицај на здравље). Оне обично одговарају најнижем нивоу утицаја за уобичајено насељену популацију у специфичној области, попут оних за разумљивост говора у затвореном. Насупрот томе, граничне вредности буке које доводе до узнемирености су 50 или 55 dB и приказују дневне нивое испод којих ће већина одрасле популације бити заштићена од постојања умерене или озбиљне угрожености.

Осим са Правилником (Правилник 1989), сви критеријуми за оцењивање буке у сагласности су и са документима: ИСО 1996-1: Акустика: описивање, мерење и оцењивање буке у животној средини – део 1 и 2 (основне величине и процедуре оцењивања) и 2002/49/ЕС – Европска директива за процену и управљање буком у животној средини и препорукама стандарда: ЕН 61672, ЕН 60651; ЕН 60804. Поступак код испитивања буке је такав да се утврђени нивои и други карактеристике буке упоређују са препорукама, нормативима или стандардима којима су дефинисане максималне дозвољене вредности.

Адекватна испитивања буке захтевају употребу калибрисане мерне опреме уз одговарајуће мерне поступке и планиран избор мерних места, израду реалистичних рачунских модела за процену, потом анализу и оцену добијених вредности према предвиђеним правилницима и стандардима за испитивану локацију (Ilić et al. 2018a). Понекад се стандардни модели процене не слажу са добијеним емпиријским вредностима на терену. Тако се ниво сметњи појединих звукова, према субјективном осећају градског становништва, не поклапа са предвиђањима услед недостатка математичких модела (Рауповић 2013).

Таб. 13.2. Дозвољени ниво вањске буке у животној средини у Републици Српској (Правилник 1989)

Table 13.2. Allowed levels of external noise pursuant to the purpose of the area (Правилник 1989)

Подручје (зона)	Намјена подручја	Највиши дозвољени нивои вањске буке (dBA)			
		Еквивалентни нивои		Вршни нивои	
		дан	ноћ	L10	L1
I	Болничко, лечилишно	45	40	55	60
II	Туристичко, рекреацијско- опоравилишно	50	40	60	65
III	Чисто стамбено, васпитно- образовне и здравствене институције, јавне зелене и рекреацијске површине	55	45	65	70
IV	Трговачко, пословно, стамбено и стамбено уз саобраћајне коридоре, складиште без тешког транспорта	60	50	70	75
V	Пословно, управно, трговачко занатско, сервисно (комунални сервис)	65	60	75	80
VI	Индустријско, складишно, сервисно и саобраћајно подручје без станова	70	70	80	85

13.2.4. Мерење и симулације усмерених извора и саобраћајне буке

Стандардима ISO 1996-1(2) дефинисани су методе и поступци и утврђене смернице за описивање, мерење и оцену буке у животној средини (Прашчевић и сар. 2018). Да би се добила поуздана процена мерене величине (еквивалентног нивоа), временски интервал директног мерења треба да обухвати одговарајући број звучних догађаја. Мерење вањске буке укључује мерење општег нивоа буке, израженог у dB. За процену буке која потиче од саобраћаја потребно је измерити учесталост проласка возила, правећи разлику међу категоријама. Током снимања буке прикупљени су подаци о саобраћају, вршено је бројање учесталости кретања возила поред мерног места у временским интервалима од 15 минута.

Испитивања буке на територији Републике Српске, која је урадила Јавна научноистраживачка установа (ЈНУ) Институт за заштиту и екологију Републике Српске коришћена су за израду студија и научних истраживања. Испитиване су градске локације са фреквентним саобраћајем, међу којима је буком у животној средини потенцијално највише оптерећена Бања Лука, као највећи град и уједно административни и привредни центар Републике Српске. Осим Бање Луке, испитивања су вршена и у мањим општинама (Јањуш и сар. 2017, Стојановић Бјелић и сар. 2022) на локацијама у близини индустријских постројења. Испитивани су постојећи извори буке, али су у обзир узимани и могући утицај потенцијалних извора и ширење буке током изградње и након инсталације будућих постројења.

За процену штетног дејства а потом за предузимање одговарајућих мера заштите од буке у конкретним условима неопходно је располагати тачним подацима о стању. Мерење је поуздана метода испитивања и мора да се обавља под одређеним условима: уважити критеријуме за избор мерног места, изабрати одговарајући број мерења и временски период, спровести адекватну обраду и презентовање резултата и користити одговарајући мерни инструмент. Инструмент се поставља на трокраки телескоп подесиве висине, а за фреквентну анализу користи се софтвер 7815 Noise Explorer™. Током мерења буке на отвореном простору микрофон апарата налази се на триподу на висини од 1,5 m висине, на 3–5 m удаљености од коловоза и 3,5 m, односно најмање 0,5 m, удаљен од рефлектујућих физичких препрека.

Када то услови захтевају, мерења се изводе и на већим висинама или ближе зидовима (на пример 0,5 m испред отвореног прозора), о чему је дискутовано у резултатима. Бука, као специфични облик загађења, са великим потенцијалом за даљи раст и ширење због модернизације и урбанизације,

постаје све озбиљнији еколошки проблем. Нема назнака спонтаног смањења буке, већ су све израженији перманентни показатељи њеног пораста, сразмерно појави све већег броја различитих извора звука.

Премда све већи, овај проблем није био препознат чак ни у развијеним земљама. Низ истраживања спроведено је у Бањој Луци, другом по величини граду у БиХ са око 200.000 становника, углавном ради оцењивања нивоа буке пореклом од саобраћајница и њеног мапирања. Испитиване су градске урбане зоне (Ilić et al. 2021), булевари (Ilić et al. 2018e), кружни токови (Božić et al. 2020) и локације на којима су здравствене установе (Ilić et al. 2018c, 2018d). Мерења на подручју зоне I (класификација према Таб. 13.2) трајала су три дана, у дневним, вечерњим и ноћним терминима. Добијени резултати (Таб. 13.3) у свим терминима премашују граничне вредности релевантних величинама оцењиваних према Правилнику (Правилник 1989). Нису све фреквенције звука равномерно заступљене, самим тим не утичу подједнако на животну средину. Због тога је рађена и фреквентна анализа буке за дневна мерења на локацији у близини болнице (Таб. 13.4). Добијене еквивалентне вредности нивоа превазилазе дефинисане граничне у опсегу од 63 до 8000 Hz, што обухвата и део спектра фреквенција у којим је људско ухо најосетљивије.

Таб. 13.3. Ниво буке у улици Јована Дучића (код хирургије) (Ilić et al. 2018d)
 Table 13.3. Level of noise in Jovana Dučića street (near surgery) (Ilić et al. 2018d)

Први дан			Други дан			Трећи дан		
Дневне вредности dB(A)								
L_{eq}	L_1	L_{10}	L_{eq}	L_1	L_{10}	L_{eq}	L_1	L_{10}
64,9	70,9	67,7	64,9	71,5	67,8	67,7	76,2	71,1
Вечерње вредности dB(A)								
L_{eq}	L_1	L_{10}	L_{eq}	L_1	L_{10}	L_{eq}	L_1	L_{10}
64,3	72,5	67,3	66,8	73,0	67,1	62,9	71,0	66,2
Ноћне вредности dB(A)								
L_{eq}	L_1	L_{10}	L_{eq}	L_1	L_{10}	L_{eq}	L_1	L_{10}
60,2	68,3	63,2	64,1	71,9	67,8	61,1	69,7	65,4

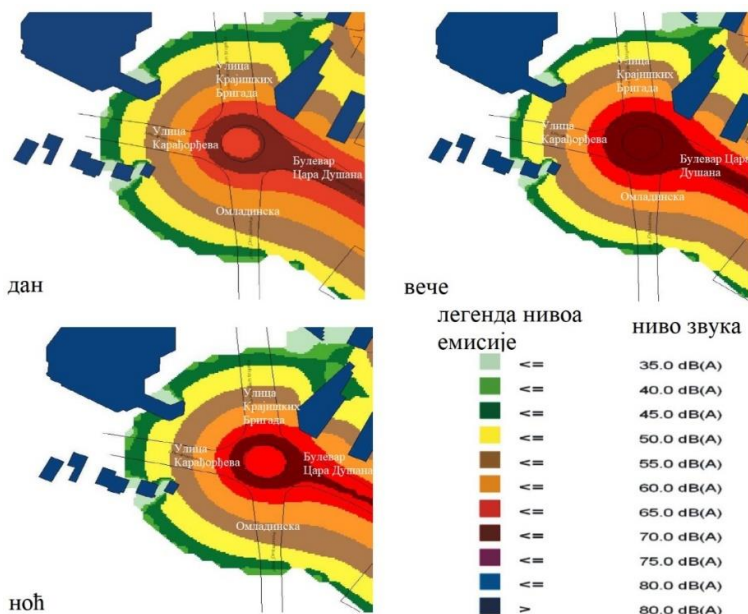
Таб. 13.4. Нивои буке различитих фреквенција у близини хирургије (Ilić et al. 2018d)

Table 13.4. Values of noise levels depending on the frequency near the surgery (Ilić et al. 2018d)

Hz	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
dB	-	50,7	54,8	56,2	59,0	62,3	62,4	57,4	51,9	44,1

Према досадашњим истраживања (ЕЕА 2014), један од четири становника Европе изложен је прекомерним нивоима буке генерисане саобраћајем, чији штетан допринос од укупне буке на људско здравље износи 90%. Ниво буке зависи од интензитета саобраћаја, брине, карактеристике путева, врсте и ограничења брзине, типова и исправности возила и топологије путне инфраструктуре (раскрснице на путевима). Возила у стањима кретања (убрзања) и заустављања (успорења) праве већу буку од возила у слободном току саобраћаја при константним брзинама.

Примарни захтев за редукацију буке је адекватно одржавање путева. Једна од мера оптимизације емитовања саобраћајне буке, смањење за 1–2 dB у поређењу са дисконтинуираним саобраћајем регулисаним семафорима, постиже се изградњом кружних токова (уместо семафора, раскрсница, укључења) у саставу урбане саобраћајне инфраструктуре. Укључујући све релевантне метеоролошке параметре, уз помоћ софтверског пакета Noise Explorer 7815 верзије 5.1, генерисана је мапа буке око кружног тока (Сл. 13.5). Различитим бојама на слици означена је промена интензитета звука на локацији.



Сл. 13.5. Мапирање ширења буке око кружног тока у току дана, вечери и ноћи (Ilić et al. 2018d)

Fig. 13.5. Map of traffic noise spreading over roundabout during day, evening and night (Ilić et al. 2018d)

Према приказаним резултатима еквивалентни ниво буке на коловозу прелази граничне вредности свих подручја током сва три дневна периода, док дистанцирањем ка плочнику она даље опада испод граничних вредности за подручје треће категорије према Правилнику (Правилник 1989). На веома фреквентном саобраћајном току дуж главног пута Бања Лука – Јајце (западни транзит), због повећаног транспорта робе овом рутом у дневном и вечерњем периоду, појављује се пик нивоа буке.

Максимум нивоа саобраћајне буке у директној је корелацији са порастом протока возила кроз кружни ток и ови догађаји су синхронизовани (Таб. 13.5). Порасту нивоа буке доприноси структура неадекватно одржаваних возила, старости преко 10 година, већином бучних мотора са погоном на дизел. Проток возила у посматраном кружном току, а са тим и пратећи ефекти штетног утицаја на животну средину, увећан је транзитом возила након изградње ауто-пута Градишка – Бања Лука (2011).

Таб. 13.5. Број и учесталост возила према категоријама у различитим периодима током три узастопна дана (Ilić et al. 2018d)

Table 13.5. Number and traffic frequency in different periods during 3 successive days (Ilić et al. 2018d)

	1. дан			2. дан			3. дан		
	дан	веч е	ноћ	дан	веч е	ноћ	дан	веч е	ноћ
Број возила	363	224	118	331	238	123	336	275	96
Путничка возила %	90,1	87,9	94,9	90,2	91,5	91,8	88,4	91,7	90,6
Аутобуси %	2,21	0,9		1,9	1,15	1,5	1,31	1,33	0,95
Комби-возила %	3,85	4,02	3,38	3,54	3,85	2,23	6,32	2,01	1,88
Мотоцикли %	1,65	3,12	-	1,9	0,38	0,74	0,52	1,33	0,95
Камиони %	2,21	4,02	1,7	2,46	3,08	3,73	3,42	3,66	5,66

Друмска саобраћајна бука зависи пре свега од карактеристика и структуре путничких возила. Бука друмских возила потиче од погонског система и контакта пнеуматика са површином коловоза. На погонском систему најинтензивнији звук настаје радом мотора (број обртаја у минути), затим у системима кроз које се врши проток гасова. Већа теретна возила и аутобуси имају јаче изворе буке због већег погонског система и карактеристичног приањања возила на путу, што даје посебну тежину њиховој заступљености у саобраћајном току (Јањуш и сар. 2015). Бука је доминантна у односу на штетне факторе који угрожавају животну средину. Да би се предузеле

одговарајуће мере заштите, неопходно је буку детаљно испитати. Комуналну буку потребно је најпре измерити, потом оценити а на послетку предузети мере техничке и здравствене заштите. Ради превенције комуналне буке током одржавања јавних манифестација у Бањој Луци, израђена је студија (Студија 2018) током које је испитана оптерећеност 11 потенцијалних локација предвиђених за извођење оваквих догађаја. Осим мерења извршена је и теоријска процена ширења комуналне буке из усмерених извора моделираних према потребама јавних масовних манифестација. Селектоване локације су класификоване на подручја (Таб. 13.2) дефинисана Правилником (Правилник 1989) ради даље оцене оптерећености. Једна од рађених локација је Трг Крајине, класификована као IV зона, тј. припада трговачком, пословном, стамбеном и стамбеном подручју уз саобраћајне коридоре, са мерним тачкама распоређеним као на Сл. 13.6.



Сл. 13.6. Распоред мерних тачака МТ 1-МТ 5 на локацији Трг Крајине означених са \varnothing (Студија 2018)

Fig. 13.6. Measure points M1-M5 at location Trg Krajine labeled with \varnothing (СЏуџија 2018)

Мерна места локације Трг Крајине распоређена су непосредно уз коловозе у центру града са великом фреквенцијом возила различитих категорија током целог дана, али и у вечерњим сатима, међу којима су аутобуси већег броја линија које повезују центар са осталим градским насељима, мотоцикли и велики број путничких аутомобила.

Истовремено са мерењем фреквенције возила извршено је и мерење нивоа буке на локацији. Добијени вршни и еквивалентни нивои, који се према Правилнику оцењују ноћу од 22.00 до 06.00 часова и у дневном периоду од 06.00 до 22.00 часа, приказани су табеларно (Таб. 13.6). Време мерења, петак вече у летњој сезони, доба је када се очекује пик у фреквенцији саобраћаја одређених категорије возила, пре свега аутомобила, а потом мотора, који су веома снажни генератори буке. Према евиденцији (датум, опис локације итд.), ноћна мерења на испитиваној локацији рађена су на почетку овог периода (од 22.00 часа), када је очекивана велика фреквенција путничких возила (али и када је присутан велики број пролазника) и приказана су табеларно.

Таб. 13.6. Број возила на локацији Трг Крајине током мерења буке (Студија 2018)

Table 13.6. Number of vehicles at square Trg Krajine during noise measurement (Study 2018)

Мерно место	Мотоцикли	Путнички аутомобили	Комби возила	Аутобуси	Возила > 5 t	Укупно возила
ДНЕВНИ ПЕРИОД МЕРЕЊА						
МТ 1	-	-	-	-	-	0
МТ 2	15	171	9	15	-	210
МТ 3	-	-	-	-	-	0
МТ 4	-	204	6	18	-	228
МТ 5	-	153	9	3	-	165
НОЋНИ ПЕРИОД МЕРЕЊА						
МТ 1	4	-	-	-	-	4
МТ 2	21	207	3	21	-	252
МТ 3	-	-	-	-	-	0
МТ 4	21	243	3	12	-	279
МТ 5	-	177	3	3	-	183

У свим мерним тачкама на локацији Трг Крајине током оба периода, долази до прекорачења нивоа свих релевантних величина L_{eq} , L_1 и L_{10} , што је приказано у Таб. 13.7) Добијени резултати нивоа буке у сагласности су са вредностима учесталости саобраћаја, који је њен главни генератор на овој локацији.

Таб. 13.7. Измерене вредности буке у означеним мерним местима са слике (Сл. 13.6) на локацији Трг Крајине, изражене у јединицама dB(A) (Студија 2018)

Table 13.7. Measured values of noise in marked places from the picture (Fig. 13.6) at location Trg Krajine given in unit dB(A) (Студија 2018)

Мерна тачка	Координате мерних тачака	L_{eq} дан	L_{eq} ноћ	L_1 дан	L_1 ноћ	L_{10} дан	L_{10} ноћ
МТ 1	44°46'8.90"N 17°11'22.26"E	65,5	69,3	82,9	90,8	77,3	88,8
МТ 2	44°46'12.30"N 17°11'21.80"E	65,4	68,9	86,2	87,0	81,9	83,7
МТ 3	44°46'13.25"N 17°11'23.51"E	69,6	70,8	80,9	81,6	79,0	79,3
МТ 4	44°46'15.87"N 17°11'23.97"E	73,6	75,3	92,3	92,9	86,9	89,1
МТ 5	44°46'14.52"N 17°11'16.78"E	68,1	70,1	87,4	93,0	82,0	83,6

Ажурирана анализа предикција одговарајућих смерница WHO о буци, у складу с Парма декларацијом усвојеном на Петој министарској конференцији о животној средини и здрављу у 2010. години (*Parma Declaration 2010*), неопходно је полазиште у изради свих акустичких модела за акционе планове заштите од комуналне буке, па тако и од буке приликом одржавања јавних манифестација у урбаним градским зонама. Улазни подаци за израду акустичког модела јавног скупа, неопходни да се изврше процене релевантних величина о нивоима звука, сврстани су у две основне групе:

- подаци о испитиваној локацији и
- подаци о изворима буке.

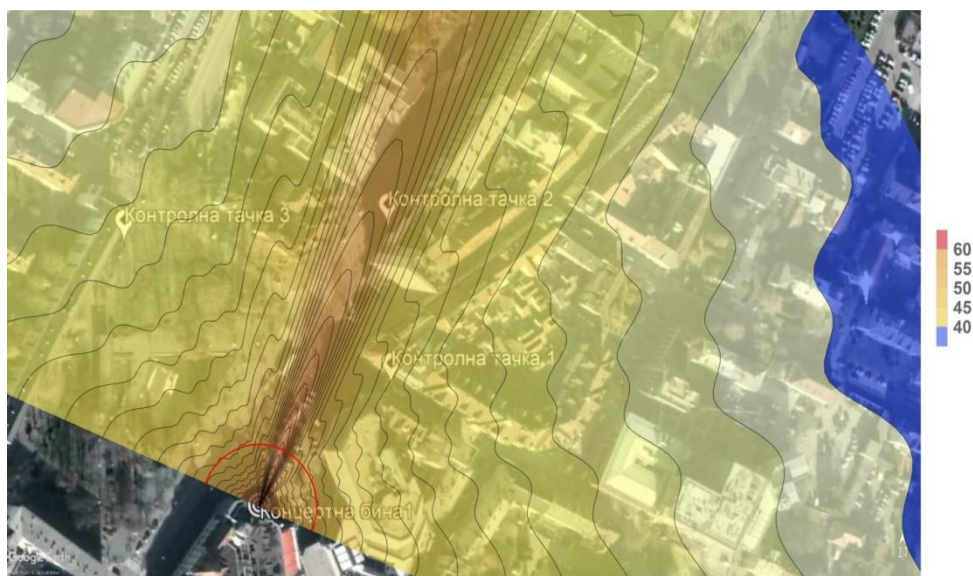
Подаци о предметном подручју израде акустичког модела укључују висине (изохипсе) терена, географски положај, покров терена (који дефинише акустички рефлективну или апсорпцијску површину), висине и карактеристике архитектонских објеката и осталих препрека ширењу звука, те детаљније податке о положајима објеката на подручју израде акустичког модела.

Кроз прорачун се узимају следеће битне акустичке појаве:

- усмереност извора,
- геометријска дивергенција,
- апсорпција звучних таласа у атмосфери,
- ширење звучних таласа близу површине земље,

- појава рефлексије и скретање звучних таласа од разних површина,
- заштитни ефекти објеката који чине препреку ширењу звучних таласа,
- заштитни ефекти услед промене висине рељефа, апсорбирајућих површина и сл.

За локацију Трг Крајине извршена је и процена изложености буком током одржавања јавних манифестација. Коришћен је модел прорачуна буке усмереног извора са дијаграмом фактора усмерености приказаним на Сл. 13.7. Разматран је најнеповољнији модел пропагације кроз слободан простор, без атенуације звука због метеоролошких параметара или других ефеката звучних таласа.



Сл. 13.7. Предлог положаја линијског извора буке и њеног усмерења током јавних манифестација предвиђених на Тргу Крајине. Контуре повезују тачке истог нивоа буке (легенда дата у јединицама dB) (Студија 2018)

Fig. 13.7. Preposition of loudspeaker position and orientation during public manifestation on location Trg Krajine. Contours are connecting points with equal noise level (given in dB units) (Студија 2018)

Теоријском предикцијом проучена је дистрибуција буке пореклом од линијског извора буке на јавној манифестацији на Тргу Крајине, без утицаја осталих извора звука, па ни саобраћаја (претпостављено је да неће бити кретања возила због масовног окупљања људи). Предвиђено је да је извор висине 6 m са усмереношћу приказаном на Сл. 13.7. Пројекција нивоа звука,

фреквентног опсега у ком је људско чуло најосетљивије, усмерена је на сателитску мапу испитиване локације (Сл. 13.7). Црвеном линијом у простору издвојена је област далеког поља (*far-field*) на 30,6 m од извора:

$$r_{ff} = \frac{(n \cdot d)^2 f}{2c},$$

која се дефинише као област где су притисак звука и брзина честица у истој фази, док притисак звука опада за 6 dB за свако удвостручење удаљености од извора. Прорачуном је оптимизована снага извора тако да је ниво буке под датим условима, на правцу таласног фронта звука, где је очекивана највећа изложеност стамбеног објекта у границама препорученим Правилником. На основу датих услова конструкције усмереног извора, за буку нивоа 67,4 dB на граници области блиског и далеког поља, која је за фреквенцију 3500 Hz на удаљености 30,6 m од извора, ниво звука на најизложенијој тачки стамбеног објекта биће у границама предвиђеним Правилником. У смислу заштите од буке, локације одређене за одржавање јавних манифестација третирају се као конфликтна подручја у којим постоје превисоки нивои буке у односу на највише допуштене нивое предвиђене законским прописима.

У ЈНУ Институт за заштиту и екологију Републике Српске развијен је програмски код за процену нивоа буке у околини извора, као један од алата за проучавање буке у животној средини чији је извор саобраћај, али и тешке индустријске машине. Добијени резултати пројектују се на сателитске снимке у виду контурског плота са линијама које повезују тачке истог нивоа звука. Овакав приказ даје погодан преглед оптерећености животне средине буком са подацима о тачним интензитетима у категорисаним подручјима (Таб. 13.8).

Пре почетка формирања копа 3 у руднику угља Станари (код Добоја, Република Српска) рађена је студија којом је између осталих фактора штетног утицаја на животну средину анализом обухваћена и бука. Предвиђена локација тог копа због своје близине неселеном месту имаће утицај на подручје које према важећем стандарду спада у зону IV. Мерењем је оцењено стање на локацији пре формирања копа, а теоријским прорачуном предвиђене су очекиване вредности оптерећености животне средине након његовог формирања, јер ће на копу бити коришћене тешке и транспортне машине. За процену еквивалентне вредности нивоа буке у околини копа било је неопходно дефинисати карактеристике терена, границе копа, број и распоред тешких машина на локацији и ниво буке који свака од њих прави на референтној удаљености $d_0 = 7,5m$ (Санџи et al. 2021). Процена је рађена под претпоставком да буку генеришу транспортна средства и остала тешка

дисконтинуална механизација потребна за послове у руднику дуж целе границе копа, чија дужина ка насељеној области износи 2.500 м.

Таб. 13.8. Ниво буке на удаљености d_0 од тешке и дисконтинуалне механизације активне на копу 3 рудника Станари
 Table 13.8. Noise level at distance d_0 from heavy and diskontinual mechanization active on the mine KOP-3 of the Mine Stanari

Машина	Ниво буке L_0 [dB]
Дробилица	89
Цистерна	70
Скип	80
Грејдер	80
Дампер	80
Булдожер	80
Утоваривач	85
Багер	90
Самоходни транспортер	83

Очекивано је да на копу 3 током дана (дневни период 06.00–22.00 часа) буде активно 10 тешких и транспортних машина које се крећу константном брзином и да ради сва дисконтинуална механизација наведена у Таб. 13.8. Ноћу је, међутим, очекивана активност машина двоструко редукована. Извршена је процена за највећу активност тешких машина, са најнеповољнијим могућим сценаријем са аспекта оптерећености животне средине буком. Сматра се да су тешке машине у саставу дисконтинуалне механизације постављене у истуреним граничним деловима површине копа 3, у тачкама најближим насељеним областима. Прорачун је рађен у апроксимацији слободног простора, када ширење буке не наилази на физичку препреку, што је очекивано на почетку радова током формирања копа док су тешке машине на површини у нивоу насељених објеката.

Модел коришћен у прорачуну нивоа буке на копу подразумева да су димензије возила (машина) мале у односу на димензије површине на којој се мапира бука, стога је репрезентован тачкастим извором буке (Jonasson 1999) и занемарен је утицај физичких препрека. Разматрана је дистантна атенуација (Cany et al. 2021) рачуната према релацији:

$$L_i(x, y, t_j) = L_0 + 10 \log_{10} \frac{d_0^2}{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}$$

у тачки простора координатама (x, y) генерисана од стране извора i чији је положај (x_i, y_i) у тренутку t_j . Узима се у обзир пригушење које потиче од

апсорбције током ширења звука кроз ваздух, а индекс пригушења је $\Delta L_{air} = 2dB$ (Wunderli et al. 2016). Ниво буке, израчунат у свакој тачки испитиване локације, кумулативни је допринос равномерног кретања више (укупно m) радних машина (Kuehnel et al. 2021; Canyi et al. 2021) и дат је изразом:

$$L(x, y, t_j) = 10 \log_{10} \sum_{i=1}^m 10^{0,1L_i(x,y,t_j)}.$$

Симулирањем корака током времена T , еквивалентни ниво (L_{eq}) у произвољној тачки (x, y) на испитиваној локацији добије се усредњавањем по времену, изражено преко:

$$L_{eq}(x, y) = 10 \log_{10} \frac{\sum_{t_j}^T 10^{0,1L(x,y,t_j)}}{T},$$

где је T време кретања транспортног возила по путањи са највећим предвиђеним доприносом нивоима буке у насељеним подручјима.

Ако су рачунати сукцесивни блиски тренуци, односно ако су временски интервали t_j мали, еквивалентни ниво континуалног звука износи:

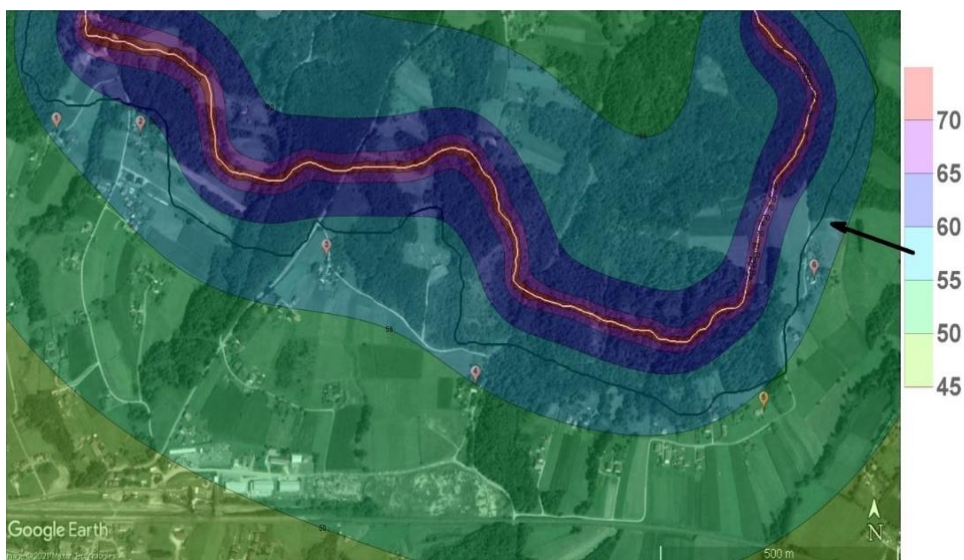
$$L_{eq}(x, y) = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1L(x,y,t)} dt.$$

На основу добијених података о распореду и динамици рударске механизације, броју тешких машина и о планираном положају копа, процењени су нивои буке на том копу, на њему најближим насељеним областима и шире. Овим је обухваћена површина прорачуна од 205,4 хектара. Рачунски добијене вредности пројектоване су на карту *Google map*, чиме се добија карта буке да би се што верније приказао ниво оптерећености буком насељених области према захтевима Правилника током периода дана и ноћи.

Доминантан извор буке (жариште) је унутрашња ивица граничног појаса планираног копа, удаљена 50 m од његове границе, уз претпоставку да је ту могуће направити транспортни коридор. Функција овог појаса је заштитна и у њему вегетација атенуира не само звук већ и остале полутанте настале на копу. Поље буке, у облику контурног графика, на ком су приказани нивои у зависности од положаја у простору добијени преко описаног модела, приказује тачке у простору изложене буком током периода дан и ноћ. Смањен интензитет рада тешких машина током ноћи доводи до сужавања површине простора са интензитетом буке изнад граничног и ширење области са нижим интензитетима буке.

Дневна и ноћна дистрибуција буке потиче из жаришта на ободу појаса копа 3, куда је планиран транспорт, а шири се ка насељеним местима, иза границе копа, означене на сликама црном линијом. Иза црне линије уцртане су планиране мерне тачке будућих испитивања.

Варијација интензитета буке на мапама, односно у различитим местима, приказана је бојама. На слици дневне дистрибуције стрелицом је повезано поље у граничној области највеће изложености стамбених објеката одговарајућом вредношћу скале између 55–60 dB (Сл. 13.8), што је у границама предвиђеним Правилником за зону IV у периоду од шест до двадесет два часа. Ова област је током ноћи према мапи (Сл. 13.9) изложена нивоу између 50 и 55 dB. То је према Правилнику прихватљиво за зону IV у ноћном периоду.

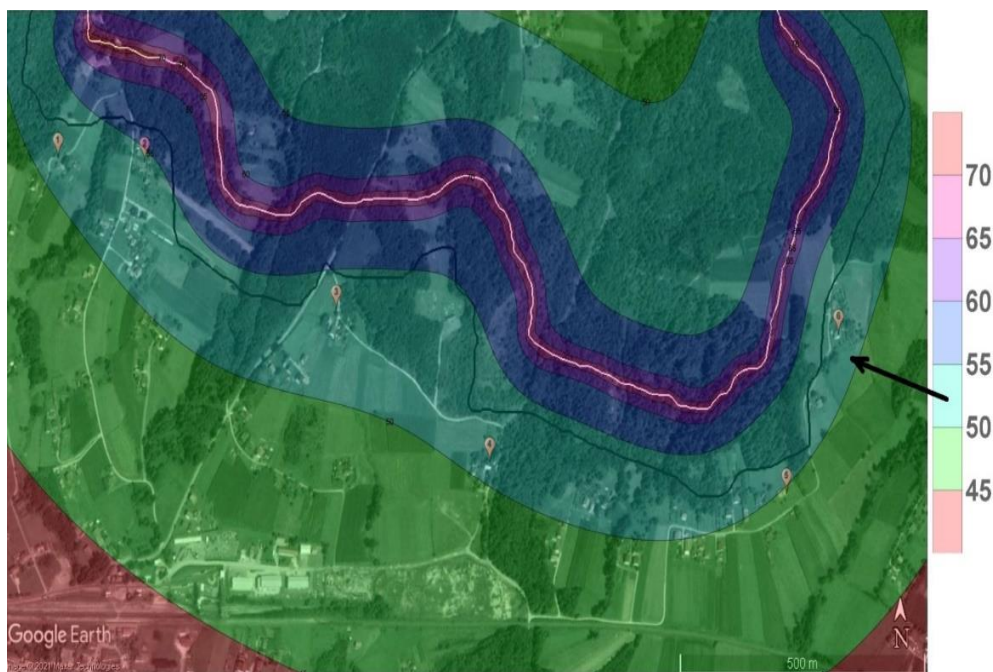


Сл. 13.8. Дневни нивои буке у околним насељима копа 3. Бојама одговарају одређене вредност L_{eq} у јединицама dB на скали. Црна стрелица указује да је у насељеној области ниво буке испод граничне 60 dB за зону IV

Fig. 13.8. Noise level during the daily traffic load over mine and populated area. Different colors correspond certain values of noise given in dB. Black arrow display noise level below 60 dB in populated area.

Изложене анализе нивоа буке, добијене мерењем или прорачуном, вршене су компарацијом у односу на граничне вредности дефинисане Правилником који је важио до 2023. године.

Основне величине, појмови и методе, релевантни и за поступак мерења и за теоријски прорачун, у складу су и са новим Правилником о граничним вриједностима интензитета буке (Правилник 2023). Добијене вредности мерења и максималних интензитета процењене прорачуном такође су у границама прописаним овим документом.



Сл. 13.9. Ноћни нивои буке у околним насељима копа 3. Бојама одговарају одређене вредност L_{eq} у јединицама dB на скали. Црна стрелица указује да је у насељеној области ниво буке испод граничне 55 dB за зону IV

Fig. 13.9. Noise level during the night traffic load over mine and populated area. Different colors correspond certain values of noise given in dB. Black arrow display noise level below 55 dB in populated area of zone IV.

13.3. ЗАКЉУЧАК

Анализом измерених вредности буке на нађено је прекорачење L_{eq} у односу на препоручене вредности за дневни и ноћни период. Вредности пикова L_1 и L_{10} буке на испитиваним локацијама су нешто мање или досежу граничне, што је такође алармирајуће.

Да би се смањила комунална бука, потребно је обавити мерења и урадити њихову оцену, а потом проценити примену техничке и здравствене заштите. Ове мере су двоструке, бука се смањује техничким средствима, док се њено дејство и појава на одређеним местима регулишу правним актима, којим се забрањује рад извора буке у одређено време. Примена поменутих средстава захтева инвестиционе трошкове, а забрана рада изазива материјалне губитке и има непосредне социјалне и економске последице на делатност у којој се бука јавља.

Примера ради, са економског аспекта, постоје случајеви када бука на некој локацији може да умањи тржишну вредност тог подручја.

Истраживањима и различитим иновацијама развијени су начини за смањење буке у животној средини, односно за смањење времена изложености извору буке стварањем заштитних појасева између извора и насељених места и употребом уређаја за пригушивање буке у индустријским зонама.

Доказано је да је употреба вегетације као баријере од ширења буке најбоља опција за смањење буке и уклањање ефеката штетних за здравље људи и за животну средину. Ово је широко прихваћен метод одбране од буке, а вегетација истовремено улепшава изглед локације на којој је примењена.

Ради смањења утицаја буке на човека и контроле загађења буком спроводе се:

- Ограничавање појачања интензитета звука.
- Искључивање из саобраћаја возила која прекомерно производе буку.
- Обавезно ношење заштите од буке за раднике у индустрији.
- Делокализација бучних индустријских зона и аеродрома из насељених јединица.
- Посебна пажња током планирања и изградње објеката институција које захтевају заштиту од буке (болнице, библиотеке, школе и универзитети). Осим избора локације, што подразумева окружење са много вегетације и дислокацију од извора буке, употребом савремених соноизолационих материјала са великим капацитетом апсорпције звука и другим погодним физичким карактеристикама на широком температурном опсегу (добре термоизолационе карактеристике, мала густина, отпорност на пламен) умањује се интензитет буке у унутрашњости ових објеката.
- Озелењавање окружења постојећих објеката сврстаних у наведена осетљива подручја - с циљем атенуације буке.

Литература

- Alijagić J, Šajn R (2011) Distribution of chemical elements in an old metallurgical area, Zenica (Bosnia and Herzegovina). *Geoderma* 162(1–2):71–85. doi:10.1016/j.geoderma.2011.01.007
- Аранђеловић М, Јовановић Ј (2009) Медицина рада, Медицински факултет, Ниш, е-књига, стр 275. Доступно на: www.medradanis.rs/docs/knjiga_medicina_rada.pdf, Приступљено: 10. децембра 2022
- Barboza MJ, Carpenter SP, Roche LE (1995) Prediction of traffic noise: A screening technique. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 45:703–708. doi:10.1080/10473289.1995.10467398
- Barbosa P, Camia A, Kucera J, Liberta G, Palumbo I, San-Miguel-Ayanz J, Schmuck G (2008) Assessment of forest fire impacts and emissions in the European Union based on the European Forest Fire Information System. *Developments in Environmental Science* 8:197–208, e-book, Доступно на: www.fs.usda.gov/research/treesearch/34259, Приступљено: 10. децембра 2022
- Белић Д. (1992) Физика и екологија, Универзитет у Београду Физички факултет.
- Божих Ј, Илић П, Илић С (2020) Noise Levels in the Modern Urban Roundabout, *Indian J. Environ. Prot.* 40(12):1264–1272. Доступно на: www.e-ijep.co.in/december-2020/, Приступљено: 10. децембра 2022
- Божих Ј, Илић П, Стојановић Бјелић Љ (2018) Економски аспекти буке од градског саобраћаја: студија случаја. *EMC REVIEW* 8(1):134–149. doi:10.7251/EMC1801134B
- ЕЕА (2014) Noise in Europe 2014. EEA report no. 10/2014. European Environment Agency. Доступно на: www.eea.europa.eu/publications/noise-in-europe-2014, Приступљено: 10. децембра 2022
- Ерић Љ, Тепић С, Илић П, Рачић-Милишић С, Тубин Б (2008) Присуство NO₂ и NO_x на локалитету Центар у Бањој Луци. 5. симпозијум „Хемија и заштита животне средине” са међународним учешћем. Тара, Српско хемијско друштво. Београд.
- Zhanibekov A, Issayeva R, Golovaty S, Taspoltayeva A, Aitimbetova A, Nurtayeva A, Kurganbekov Z, Tulbasiyeva A (2022) Assessment of Soil Contamination by Heavy Metals: A Case of Turkistan Region. *Pol. J. Environ. Stud.* 31(2):1985–1993. doi:10.15244/pjoes/142613
- Илић П, Фарооқи ЗУР, Стојановић Бјелић ЛЈ (2021) Determining, Mapping and Prediction of Noise Pollution, *Indian J. Environ. Prot.* 41(4):379–384. Доступно на: www.e-ijep.co.in/41-4-379-384/, Приступљено: 10. децембра 2022
- Илић П, Илић С, Неšković Маркић Д, Стојановић Бјелић Л, Поповић З, Радовић В, Мразовац Курилић С, Фарооқи ЗУР, Мехмуд Т, Мохамед МН, Коуадри С (2022) Ecological Risk of Toxic Metal Contamination in Soil around Coal Mine and

- Thermal Power Plant. *Pol. J. Environ. Stud.* 31(5):4147–4156 .
doi:10.15244/pjoes/148071
- Ilić P, Nesković Markić D, Stojanović Bjelić LJ (2018a) Measuring and mapping noise pollution in the City of Banja Luka. *Arch. Tech. Sci.* 18(1):89–96.
doi:0.7251/afts.2018.1018.089I
- Ilić P, Nešković Markić D, Stojanović Bjelić LJ (2018b) Variation concentration of sulfur dioxide and correlation with meteorological parameters. *Arch. Tech. Sci.* 18(1):81–88. doi:10.7251/afts.2018.1018.081 I
- Ilić P, Nešković Markić D, Šobot Pešić Ž (2018c) Analyzing and mapping noise in the city of Banja Luka (Sime Matavulja street). *Bus. Stud.* 10 (19–20):47–53.
doi:10.7251/POS18047I
- Ilić P, Nišić T, Ilić S, Stojanović Bjelić LJ (2020) Identifying New ‘Hotspot’ Heavy Metal Contamination in Industrial Zone Soil. *Pol. J. Environ. Stud.* 29(4):2987–2993.
doi:10.15244/pjoes/113095
- Ilić P, Popović Z, Gotovac-Atlagić S (2019) Effects of meteorological variables on nitrogen dioxide variation. *Arch. Tech. Sci.* 20(1):65–72.
doi:10.7251/afts.2019.1120.065I
- Ilić P, Stojanović Bjelić LJ, Janjuš Z (2018d) Noise Pollution near Health Institutions. *Qual. Life.* 9(1–2):56–63. doi:10.7251/QOL1801056I
- Ilić P. Nesković Markić D. Stojanović Bjelić LJ (2018e) Traffic noise levels in the City of Banja Luka, *Qual. Life.* 9(1–2):20–26. doi:10.7251/QOL1801020I
- Илић П (2009) Контрола квалитета и истраживање утицаја загађења ваздуха у функцији заштите и унапређења животне средине у Бањој Луци. Докторска дисертација, АЦИМСИ, Универзитет у Новом Саду
- Илић П (2015) Загађења и контрола квалитета ваздуха у функцији заштите животне средине, Независни универзитет, Бања Лука.
- Илић П, Јањуш З (2008) Процјена квалитета ваздуха са аспекта присуства сумпор-диоксида. Зборник радова, Научно-стручни скуп са међународним учешћем „Савремене технологије за одрживи развој градова”, Бања Лука, 14–15. новембар 2008, Институт заштите, екологије и информатике, Бања Лука, 281–290
- Илић П, Лакић Н, Тубин Б, Јањуш З (2008) Праћење сумпор-диоксида на локалитету Центар у Бањој Луци. Други међународни конгрес „Екологија, здравље, рад, спорт”, Бања Лука
- Илић П, Максимовић Т (2021) Аерозагађење и биодиверзитет. Паневропски универзитет Апеирон, Бања Лука
- Илић П, Марковић С, Јањуш З (2009) Загађивање ваздуха и утицај на екосистеме и вегетацију. Зборник радова, Међународна конференција „Валоризација и очување потенцијала Подунавља”, Бања Лука, Министарство трговине и туризма Републике Српске и Међународно удружење научних радника – AIS, Бања Лука, 168–182
- Илић П, Прерадовић Љ, Дејановић Р, Марковић С, Јањуш З (2010) Употреба факторске анализе при мониторингу загађења ваздуха и метеоролошким

- параметрима, Зборник радова, 54. Конференције за ЕТРАН, Доњи Милановац, РТ5.5–1–4
- Јањуш З, Богданић Д, Павловић С, Чекрлија С, Илић П (2017) Генератори буке у општини Котор Варош, Зборник Међународног конгреса о процесној индустрији – Зборник радова 28, стр 270–276
- Јањуш З, Ђетојевић В, Павловић С, Чекрлија С, Илић П (2015) Утицај буке саобраћаја на животну средину града Бања Лука. Зборник међународног конгреса о процесној индустрији. Зборник радова, стр 264–269
- Jonasson HG (1999) Measurement and modeling of noise emission of road vehicles for use in prediction models, SP Swedish National testing and Research Institute, Acoustics, Report 1999:35. Доступно на: www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/20138118, Приступљено: 10. децембра 2022
- Карамарковић Ј (2005) Физика, Универзитет у Нишу, Грађевинско-архитектонски факултет.
- Kuehnel N, Ziemke D, Moeckel R (2021) Traffic noise feedback in agent-based Integrated Land-Use/Transport Models. *J. Transp. Land Use* 14:325–344. doi:10.5198/jtlu.2021.1852
- Luković M, Vičić M, Popović Z, Zeković Lj, Kasalica B, Belča I (2018) Two-color pyrometer-based method for measuring temperature profiles and attenuation coefficients in a coal power plant. *Combust. Sci. Technol.* 190(11):2018–2029. doi:10.1080/00102202.2018.1481401
- Михаиловић Д (2014) Модели прогнозе животне средине у органској пољопривреди. Доступно на: <http://polj.uns.ac.rs/wp-content/uploads/2014/08/1.01.pdf>, Приступљено: 10. децембра 2022
- Parma Declaration on Environment and Health, the Fifth Ministerial Conference on Environment and Health, Parma, Italy, 10–12 March 2010 Доступно на: www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0011/78608/E93618.pdf, Приступљено: 10. децембра 2022
- Рауновић К (2013) Noise annoyance in adult urban population—a discrepancy between theory and practice. *Acta Med. Medianae.* 52(3):12–17. doi:10.5633/amm.2013.0302
- Рауновић К (2020) A Review of human reactions to environmental sounds. *Serbian Journal of the Medical Chamber.* 1(1):66–74. doi:10.5937/SMCLK2001067P
- Pozder M (2012) Research on the effects of pavement surface condition on road traffic noise. *Arch. Tech. Sci.* 8(1):57–64. doi:10.7251/afts.2013.0508.057P
- Poljak D (2003) Human Exposure to Electromagnetic Fields, WIT Press, Southampton-Boston.
- Poljak D, Šarolić A, Roje V (2002) Human interaction with the electromagnetic field radiated from a cellular base station antennas, EMC EUROPE 2002 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Volume II, Milan: AEI (965)
- Popović Z, Ilić P, Gotovac Atlagić S, Rikić S, Radović B (2021) Examination along with Precise Mapping of Radio Frequency Pollution over Environment of

- Elementary School in Banja Luka, Pol. J. Environ. Stud. Vol. 30, 6 5203–5209. doi:10.15244/pjoes/135140
- Popović Z, Ilić P, Mirošljević R, Gotovac-Atlagić S (2019) Exposure to non-ionizing radiation of area in urban zone of the Banja Luka city, Arch. Tech. Sci. 20(1):81–86. doi:10.7251/afts.2019.1120.073K
- Правилник о граничним вриједностима интензитета буке (Службени гласник Републике Српске, бр. 2/23)
- Правилник о дозвољеним границама интензитета звука и шума (Службени лист СРБиХ, број 46/89)
- Прашчевић РМ, Цветковић СД, Михајлов ИД (2018) Бука у животној средини, Факултет заштите на раду у Нишу, Ниш
- Прерадовић Љ, Илић П, Марковић С, Јањуш З (2010) Функционалне зависности загађења ваздуха и азот-диоксида – могућност примјене data mining-а, Зборник радова, 54. конференција за ЕТРАН, Доњи Милановац, VI.2.3–1–4
- Radović B, Ilić P, Popović Z, Vuković J, Smiljanić S (2022) Air Quality in the Town of Bijeljina – Trends and Levels of SO₂ and NO₂ Concentrations. Qual. Life. 22(1–2):46–57. doi:10.7251/QOL2201046R
- Radomirović M, Ćirović Ž, Maksin D, Bakić T, Lukić J, Stanković S, Onjia A (2020) Ecological risk assessment of heavy metals in the soil at a former painting industry facility. Front. Environ. Sci. 8, 560415. doi:10.3389/fenvs.2020.560415
- Savić D, Nišić D, Malić N, Dragosavljević Z, Medenica D (2018) Research on power plant ash impact on the quality of soil in Kostolac and Gacko coal basins. Minerals. 8(2):54. doi:10.3390/min8020054
- Singh YK (2006) Environmental science, New Age International (P) Limited, Publishers 4835/24, Ansari Road, Daryaganj, New Delhi
- Стојановић Бјелић Љ, Илић П, Нешковић Маркић Д, Поповић З (2022) Бука у животној средини: студија случаја термоелектрана. Актуелности 41:7–18. doi:10.7251/AKT2241007S
- Студија (2018) Испитивање буке на локацијама одржавања јавних манифестација, ЈНУ Институт за заштиту и екологију Републике Српске, Бања Лука
- Ćirišan A, Podračanin Z, Nikolić Bujanović LJ, Mrazovac Kurilić S, Ilić P (2023) Trend Analysis Application on Near Surface SO₂ Concentration Data from 2010 to 2020 in Serbia. Water Air Soil Pollut. 234:186. doi:10.1007/s11270-023-06111-3
- Fino A (2019) Air Quality Legislation, Encyclopedia of Environmental Health (Second Edition), 61–70. doi:10.1016/B978-0-12-409548-9.11045-0
- Huremović J, Horvat M, Kotnik J, Kocman D, Žižek S, Ribeiro Guevara S, Muhić-Šarac T, Memić M (2017) Characterization of mercury contamination surrounding a chloralkali production facility in Tuzla, Bosnia and Herzegovina. Anal. Lett. 50(6):1049–1064. doi:10.1080/00032719.2016.1205595
- C4 System Specifications and configurations, d&b audiotechnik AG (1995–2003)

- Canyi D, Xinfa Q, Feng L, Ming C (2021) A simulation of traffic noise emissions at a roundabout based on a cellular automaton model. *Acta. Acust.* 5:42. doi:10.1051/aacus/2021037
- Штрбац Д, Петровић Гегић А, Миросављевић З (2019) Увод у инжењерство заштите животне средине, Нови Сад, Факултет техничких наука – Графички центар ГРИД
- Wang X, Sun Y, Guo H, Wang H (2020) Analysis of Soil Heavy Metal Hg Pollution Source Based on GeoDetector. *Pol. J. Environ. Stud.* 31(1):347–355. doi:10.15244/pjoes/139303
- Wunderli JM, Pieren R, Habermacher M, Viennau D, Cajochen C, Probst-Hesch N, Roosli M Brink M (2016) Intermittency ratio: A metric reflecting short-term temporal variations of transportation noise exposure, *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 26:575–585. doi:10.1038/jes.2015.56
- Young HD, Freedman RA, Lewis Ford A (2012) *University physics with modern physics*, Addison-Wesley, San Francisco

Impact of noise to the environment in Republic of Srpska

Zoran P. Popović, Predrag Ilić

Summary

Harmful effect of noise to the human health are various, beginning from psihological to the irreversible damage of hearing. In order to prevent negative impact to the living and working environment, especially at the urban and industrial places where noise influence is the largest, at the specific location noise estimation must be performed before sources are build.

Action of protection as well as reduction of the noise based on law and technical regulations, followed by detailed investigation are mostly applied in Banja Luka, the largest city of Republic of Srpska with huge dense of population and intensive traffic jam. Beside traffic noise, which has strongest effect to the human health, theoretical predictions are also performed for directional speakers, mostly temporary active in urban location during cultural manifestation. Theoretically obtained results from simulations are projected to the map of noise, where are further defined borders between places with enlarged noise in comparatione with referent levels, given by international standards but in agreement with national legislative.

Review of data and their analysis in order to determine degree of the environment contamination in the Republic of Srpska with noise is the primary goal of this study.

The measurement methods and theoretical assessment tools used for detection and prediction of these physical pollutants, which tend to grow permanently due to lifestyle, are also presented.

Keywords: Environment protection, noise, mapping of noise