

# Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Мерење и управљање

Број индекса: 17/2015

**Данило П. Гобелјић**

## Начин мерења буке, уређаји и сензори за мерење

**завршни рад**

### Комисија за преглед и одбрану:

Титула, име и презиме ментора - ментор

1. Др Фатима Живић
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

Датум  
одбране: \_\_\_\_\_

Оцена: \_\_\_\_\_

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

Објасни шта је бука, како се класификује и који све типови буке постоје;

Објасни начин мерења буке и прикаже уређаје који се данас користе за мерење;

Опише сензоре који се користе при мерењу буке као и физичке законе и принципе по којима наведени сензори раде.

Препоручена литература:

[1] Драгана Шумарац Павловић, Миомир Мијић (2017). Електроакустика. Београд;

[2] Др Божо Илић (2019). Сензори и актуатори. Висока техничка школа струковних студија, Нови Сад.

[3] .....

...

Крагујевац, датум  
24.09.2020. године

Ментор:  
Име, презиме и звање ментора  
Др Фатима Живић

## Садржај

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| 1. Увод .....                                 | 1  |
| 2. Бука .....                                 | 3  |
| 2.1 Класификација буке .....                  | 4  |
| 2.2 Деловање буке на организам човека .....   | 5  |
| 2.3 Законска регулатива .....                 | 8  |
| 2.4 Типови буке .....                         | 8  |
| 3. Мерење буке .....                          | 12 |
| 3.1 Одређивање еквивалентног нивоа буке ..... | 14 |
| 4. Мерни инструменти .....                    | 15 |
| 4.1 Мерни ланац .....                         | 18 |
| 5. Сензори за мерење .....                    | 21 |
| 6. Калибрација .....                          | 25 |
| 7. Заштита од буке .....                      | 27 |
| 7.1 Индивидуалне мере заштите .....           | 28 |
| 7.2 Колективне мере заштите .....             | 29 |
| 7.3 Смањење нивоа буке на самом извору .....  | 29 |
| 8. Закључак .....                             | 31 |
| ЛИТЕРАТУРА .....                              | 32 |

## Резиме

У овом завршном раду ће се описати начин мерења буке и објаснити какви све уређаји за мерење буке постоје. Такође, у раду ће бити објашњено шта је бука, како се класификује и који све типови буке постоје, како све бука делује и може утицати на организам човека, који су то поуздани начини заштите од буке. Биће објашњен начин мерења буке и биће приказани уређаји који се данас користе за мерење као и опис самих сензора који се користе при мерењу буке као и физички закони и принципи на којима раде.

**Кључне речи:** Бука, амплитуда, фреквенција, мониторинг буке, фонометар, микрофон, сензори, електроакустички претварачи, звучни притисак, калибрација, пистофон

## Summary

This final paper will describe how to measure noise and explain what kind of noise measuring devices exist. Also, the paper will explain what noise is, how it is classified and what types of noise exist, how all noise works and can affect the human body, what are these reliable ways of noise protection. The method of noise measurement will be explained and the devices used for measurement today will be shown as well as a description of the sensors themselves used in noise measurement and the physical laws and principles on which they work.

**Key words:** Noise, amplitude, frequency, noise monitoring, phonometer, microphone, sensors, electroacoustic transducers, sound pressure, calibration, piston.

## 1. Увод

Бука као облик загађивања средине, односно угрожавања и деградације квалитета живота постаје у новије време све већи проблем.

У односу на друге облике загађивања средине, бука је по свом утицају на квалитет живота врло специфична. Она је по свом дејству тренутна, делује само док траје емисија и узрокује закаснеле ефекте на целокупну средину, попут загађивања ваздуха или воде. Мада не оставља трајне ефекте на околину, често или дуготрајно излагање буци може код човека да изазове пролазне или трајне физиолошке и психолошке поремећаје. При томе интензитет буке није толико битан, чак и релативно слаба бука може врло негативно да се одражава на квалитет живота. Прихватимо ли дефиницију Светске здравствене организације да је здравље "стање физичке, менталне и социјалне угодности, а не само одсуство болести", онда такво стање захтева и елиминисање буке као узрочника деградације квалитета живота.

Бука као последица савремене цивилизације, може се повезати са два феномена карактеристична за наше време:

- нагло и свеобухватно ширење урбанизације,
- повећање броја извора буке и њихове количине.

Саобраћај представља данас најзначајнији извор буке, који човека готово непрекидно оптерећује. То је угрожавање најизраженије управо у градовима, где је врло тешко избећи скоро стални утицај буке на човека. Бука као врло специфични облик загађивања има ту особину да релативно брзо опада са повећањем удаљености од извора. Тако и саобраћајна бука представља највеће оптерећење у непосредној близини самог саобраћајног средства односно саобраћајнице, што представља велико угрожавање квалитета живота у нашим згуснутим градовима, који нису грађени за данашњи интензивни и врло бучни саобраћај.

Није само саобраћај узроковао да урбани простори буду изразито оптерећени буком. Развој индустрије, замена људског рада машинама, као и све већа и обухватнија технизација свих људских делатности довела је до скоро несагледивог повећања најразличитијих извора буке. Повећање друштвеног и личног стандарда свакодневно повећава укупан број и умножава количину извора буке. Ефекти урбанизације се не ограничавају само на градско становништво, него у све већој мери угрожавају и становнике сеоских подручја. Увођење пољопривредне механизације, развој саобраћаја, модернизација домаћинства на село доносе и сеоском становништву знатна оптерећења буком.

Повећање индивидуалног стандарда, које се манифестује све већом заменом људског рада различитим апаратима у домаћинствима, уноси велики број извора буке у сам човеков дом.

Проблеми буке, последње три-четири деценије, у целом свету проучавају се веома интензивно. Бука, коју најједноставније називамо нежељеним и ометајућим звуком, развојем технике и њеном применом у најразличитијим областима људских активности, постала је један од главних загађивача човекове средине, и то како у радним, тако и у животним условима у најширем смислу те речи. Данас се бука убраја, по свим усвојеним критеријумима, у физичке агенсе штетне по здравље, уз проблем загађења воде, ваздуха, хране и других основних елемената битних за здрав и нормалан живот и рад. Бука у животној средини је светски проблем.

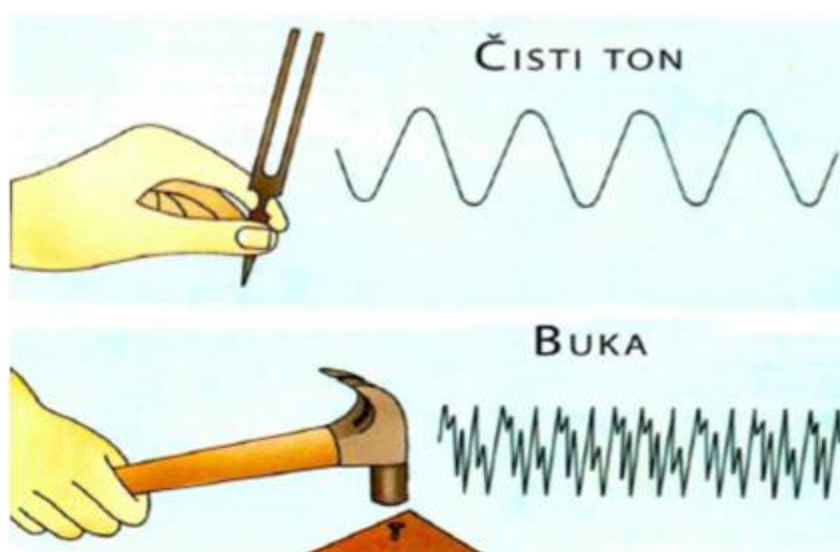
Начин борбе против буке у великој мери зависи од културе, економије, политике.

У октобру 2018. године Светска здравствена организација (СЗО) објавила је своје налазе из међународног истраживања о томе колико бука утиче на нас. Закључила је да је то један од највећих опасности по животну средину како за физичко тако и за ментално здравље и добробит у европском региону и тамо где су нивои буке неприхватљиви, људи постају под стресом, нервирају се и пате од недостатка сна за шта стручњаци страхују да ће довести до негативних здравствених ефеката на њихово срце и ментално здравље.

## 2. Бука

**Бука** је нежељен или штетан звук јаког интензитета.

Ако говоримо у еколошком смислу, бука представља непожељан звук који омета рад или одмор, а може имати негативне последице на људско здравље. У урбаним срединама представља један од најраспрострањенијих облика загађења атмосфере. Бука је често занемаривана као еколошки проблем, јер се њени негативни ефекти углавном испољавају постепено.



Слика 1. Чист тон и бука [5]

Она је практично звук коме поред физичких карактеристика треба додати и психофизичка штетна дејства и утицаје.

Некада су људи слушали буку ветрова, морских таласа, рике животиња... Са појавом разних заната појавили су се нови извори буке којима су били изложени само поједини људи (ковачи, бубњари...). Данас готово да нема радног места или насеља које није изложено буци. Процес индустријализације и урбанизације непрекидно повећава изворе буке. Све је више научника који истичу да бука не делује штетно само на орган чула слуха већ и на читав организам при чему може да изазове трајна оштећења појединих органа.

## 2.1 Класификација буке

1. У зависности од извора генеришућег осциловања, разликују се буке **механичког, аеродинамичког, хидродинамичког и електромагнетног** порекла.

У бројним индустријама доминира **механичка бука** чији су извори зупчаници, механизми ударног типа, ланчани погони, котрљајни лежајеви итд. Она је узрокована ефектима силе неуравнотеженог ротирања елемената, ударци у зглобове делова, ударци у празнинама, кретање материјала у цевоводима итд. Механички спектар буке заузима широк опсег фреквенција. Фактори које одређује механичка бука су облик, величина и врста конструкције, брзина, механичка својства материјала, стање површине тела у интеракцији и њихово подмазивање. Код машинских предузећа, највећи ниво буке настаје током рада машина за обраду метала и дрвета.

**Аеродинамичка бука** укључује буку изазвану периодичним испуштањем гаса у атмосферу, рад вијчаних пумпи и компресора, пнеуматски мотори, мотори са унутрашњим сагоревањем.

**Хидродинамичка бука** укључује буку која настаје у течностима услед губитка течне чврстоће, када притисак падне испод одређене границе, појава шупљина и мехурића испуњених течним парама и гасови растворени у њему. Извори хидродинамичке буке су водени чекић, турбуленција протока и сл.

**Бука електромагнетног порекла** настаје разним електричним производима (нпр. Електричне машине). Електричне машине производе звукове са различитим нивоима звука  $20 \div 30$  dB (микромашине) до  $100 \div 110$  dB (машине са великим брзинама рада).

2. Према месту настанка (отворен/затворен простор, природна/урбана средина)

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

- Саобраћај (друмски, железнички и авионски);
- Грађевинске машине које се користе при извођењу јавних радова;
- Индустрија;
- Машине за кућну употребу (косачица, моторна тестера и сл.);
- Машине и возила за комунално одржавање;
- Спортске активности, концерти, забавни паркови, аларми

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

- Кућни апарати (усисивач, фен за косу, веш машина и сл.);
- Вентилациони системи и клима уређаји, пумпне станице, трафостанице;
- Уређаји за музичку репродукцију;
- Журке, прославе, остале људске активности

3. Према јачини/интезитету.

## 2.2 Деловање буке на организам човека

Бука штетно делује на људе. Овај утицај зависи од нивоа и природе буке, њеног трајања и индивидуалне карактеристике особе.

Ниво буке од 20-30 dB је практично безопасан за људе. То је природна позадинска бука, без које је људски живот немогућ.

Ниво буке до 65 dB изазива само ту иритацију психолошке природе. Ово је посебно лоше за ментални рад. Често такву буку праве сами људи.

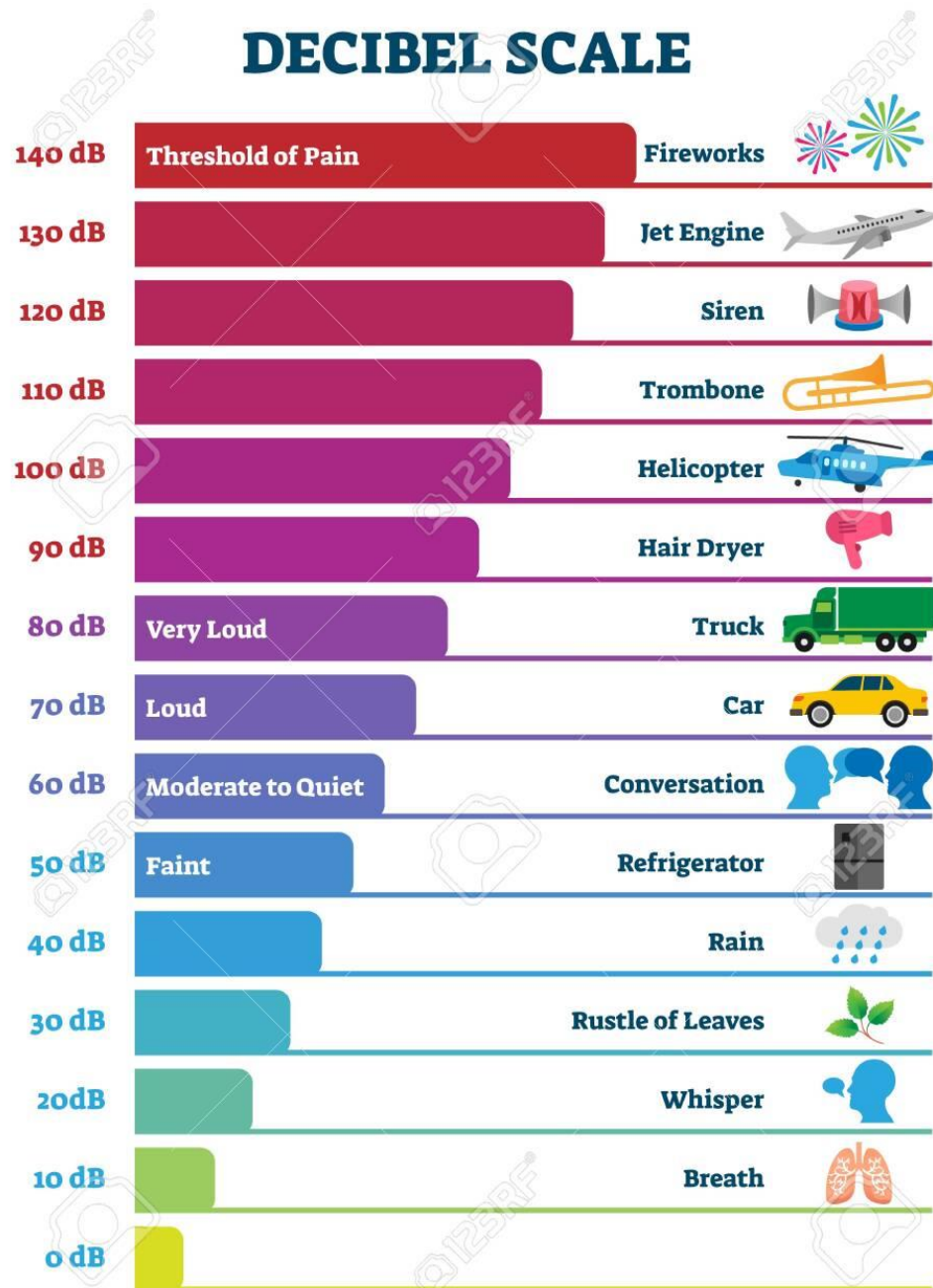
Ниво буке од 65–85 dB има на човека физиолошки утицај. Иритација буке кроз нервна влакна преносе се у централни и аутономни нервни систем, а преко њих утиче на унутрашње органе што доводи до промена у функционалном стању организма и утиче на ментално стање човека. Дакле, на наведеном нивоу буке, пулс и крвни притисак се повећавају, крвни судови се сужавају, што смањује довод крви у тело, а човек се брже умара. Утврђено је да током рада који захтева концентрацију, када се ниво буке повећа са 65 на 85 dB, постоји смањење продуктивности рада за 30%. Поред учесталости и јачине буке, јавља се губитак слуха, осетљивост на слух. Негативни ефекти буке се развијају постепено. Посебно је важно унапред предузети одговарајуће мере заштите од буке. Под утицајем јаке буке, нарочито високо-фреквентне буке, у органу слуха настају неповратне промене. При високим нивоима буке, смањење осетљивости на слух се јавља након 1-2 године рада. У почетку јака бука узрокује привремени губитак слуха а у нормалним условима, слух се обнавља за дан или два. У колико излагање буци траје месецима, опоравак траје годинама или чак оштећење постаје трајно. Бука омета нормалан одмор и опоравак и омета сан. Систематски недостатак сна и несаница доводе до тешке нервозе и поремећаја. Бука има штетан утицај на вид и смањује стабилност јасног вида. Бука доприноси повећању броја разних болести и зато што депресивно делује на психу, доприноси значајном трошењу нервне енергије, узрокује ментално незадовољство. Саобраћајна или индустријска бука депресивно делује на особу - замара, омета концентрацију. Чим се такава бука стиша, особа доживљава осећај олакшања и мира.

Изложеност нивоима буке од 85 dB и више доводи до поремећаја органа слуха. Ризик од губитка слуха код радника при буци од 85 dB је 3%, на 90 dB - 10%, на 100 dB - 29%. Осим тога, ефекат буке на циркулаторни систем се повећава, погоршава активност желуца и црева, појављује се осећај мучнине, главобоља и зујање у ушима. Код радника који раде у бучним радионицама, јавља се хипертензија након 10-12 година, а они који раде са импулсном буком имају знакове хипертензије након 2-3 године.

Ниво буке од 120 dB или више има механички утицај на цело тело. Звук који продире у кожу узрокује механичке вибрације ткива, што резултира уништавањем нервних ћелија, пуцања малих крвних судова, поцања бубне опне.

Звук на 130 dB већ изазива болну сензацију код човека и на 150 dB постаје му неподношљиво.

Звук од 180 dB изазива замор метала, а на 190 dB коване везе се уништавају. Верује се да бука, осим људима, смета и животињама. Бука коју производе подморнице или велики бродови омета комуникацију морских сисара и других животиња, звук моторне тестере омета шумске животиње и сл. Због тога се бука сматра посебним видом физичког загађивања животне средине.



Слика 2. Децибелна скала [6]

## 2.3 Законска регулатива

Активности које производе буку подлежу националним правилницима и међународним директивама о заштити животне средине.

1. Закон о заштити од буке у животној средини,
2. Уредба о индикаторима буке
2. Правилник о методама мерења буке, садржини и обиму извештаја о мерењу буке,
3. Правилник о превентивним мерама за безбедан и здрав рад при излагању буци,
4. Правилник о методологији за израду акционих планова,
5. Правилник о методологији за одређивање акустичне зоне,
6. Правилник о садржини и методама израде стратешких карата буке,
7. Правилник о условима које мора да испуњава стручна организација за мерење буке.
8. И одговарајућим међународним стандардима.

## 2.4 Типови буке

За спровођење основних процедура управљања буком, оцену стања нивоа буке, процену штетног дејства буке на човека и предузимање најадекватнијих метода за смањење буке неопходно је располагати што потпунијом и што тачнијим информацијама о карактеристикама саме буке, до којих се долази мерењем карактеристичних величина буке у амплитудном, фреквенцијском и временском домену.

Мерењима је неопходно одредити три основне карактеристике буке:

- **Јачину буке**, мерењем звучног притиска као најчешће мерене величине за описивање звучног поља, употребом логаритамске скале, односно мерењем нивоа буке у (dB).
- **Фреквенцијски спектар буке**, применом неке од метода за фреквенцијску анализу нивоа буке чиме се добијају подаци о нивоима буке компонената на дискретним фреквенцијама или подаци о нивоима буке у опсегу дефинисане појасне ширине; нормални фреквенцијски опсег који је потребно анализирати одговара чујном опсегу од 20Hz до 20kHz (у пракси се, због карактеристика уобичајених извора буке, овај опсег скраћује на фреквенције од 50Hz до 10kHz).
- **Трајање буке**, применом неке од метода за добијање временског записа буке (плотери, магнетофони, директно снимање на рачунар...) која је променљива у времену.

Наведена три параметра у потпуности описују карактер буке и омогућавају спровођење процедура за оцену стања нивоа буке, процену штетног дејства буке на човека и предузимање неке од метода за смањење буке.

Избор одговарајуће мерне процедуре, мерног параметра и мерне опреме зависи од захтева стандарда, услова мерења али пре свега од карактеристика посматране буке у временском и фреквенцијском домену. Временска зависност буке и њен фреквенцијски спектар одређују тип буке. У зависности од карактера буке у временском домену разликују се следећи типови буке:

- **Непроменљива бука** – бука релативно константног нивоа са променама до 5dB; за одређивање нивоа буке довољно је мерење  $A$  – нивоа буке које траје неколико минута,



Слика 3. Непроменљива бука [5]

- **Променљива бука** – бука променљивог нивоа са променама преко 5dB; за одређивање нивоа буке потребно је мерење еквивалентног нивоа буке у дужем временском интервалу,



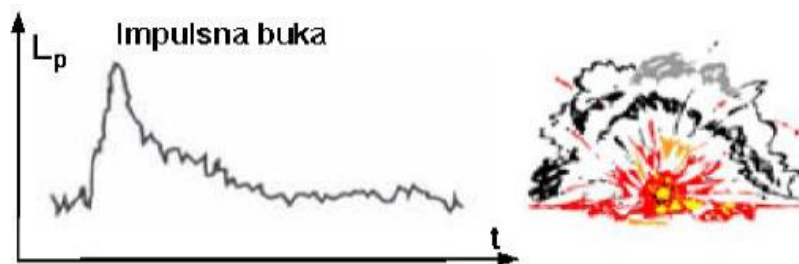
Слика 4. Променљива бука [5]

- **Испрекидана бука** – бука извора који ради у циклусима, где ниво буке веома брзо расте и опада, нпр. полазак једног аутомобила или авиона; за одређивање нивоа буке потребно је мерење нивоа изложености буци за сваки циклус рада извора.



Слика 5. Испрекидана бука [5]

- **Импулсна бука** – бука удара или експлозија, бука код које се појављује један или више брзо растућих врхова чије је трајање мање од 1с; импулсивност буке се одређује на основу разлике мерења нивоа буке са различитим временским карактеристикама инструмената.



Слика 6. Импулсна бука [5]

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

- **Широкопојасна бука** – бука са приближно равномерном расподелом енергије звука у ширем фреквенцијском опсегу (више суседних октава); за одређивање нивоа буке довољно је извршити фреквенцијску анализу применом октавних филтера.



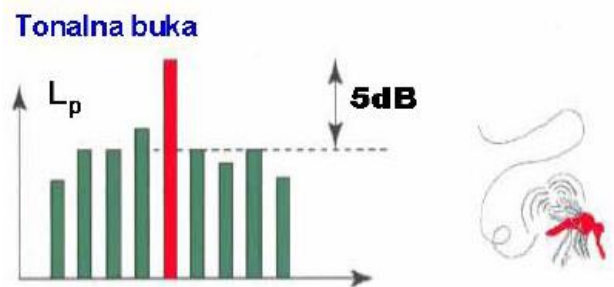
Слика 7. Широкопојасна бука [5]

- **Ускопојасна бука** – бука чија је звучна енергија садржана у ужем фреквенцијском опсегу (једна октава или мањи број терци); за одређивање нивоа буке потребно је извршити фреквенцијску анализу применом терчних филтера.



Слика 8. Ускопојасна бука [5]

- **Тонална бука** – бука која садржи већи део енергије звука на директним фреквенцијама, за одређивање нивоа буке потребно је извршити фреквенцијску анализу применом филтра са ужим пропусним опсегом од једне терце. (Напомена: У стандардима се често користи следећа дефиниција тоналне буке – бука код које је ниво буке у некој терци за више од 5dB већи у односу на ниво буке у суседним терцама).



Слика 9. Тонална бука [5]

### 3. Мерење буке

Сврха мерења буке је постизање поузданих, тачних и исцрпних података који ће на прави начин створити слику о ситуацији у вези с буком која ће бити поуздана основа будућим проучавањима.

Такође служе оцењивању важности буке као штетног фактора у одређеној комуналној средини, добијању података који ће служити за планирање насеља и саобраћајница, те да се утврди нужност и потребан опсег мера за заштиту.

Мониторинг буке врши се систематским мерењем, оцењивањем или прорачуном одређеног индикатора буке, у складу са Законом заштити од буке у животној средини и осталим сродним прописима.

Мерења дају тачно одређену величину која описује и рангира звук што је неопходно код унапређења заштите од буке, акустике стамбених зграда, музичких и биоскопских дворана, израде квалитетнијих звучника.

Јасно нам дефинишу када звук може да изазове оштећења, омогућава предузимање одређених заштитних мера. Мерења и анализе звука су снажан дијагностички алат у процесу снижења буке (аеродроми, аутопутеви).

Методе мерења су врло важне, јер се помоћу њих уједначавају услови мерења и начини приказивања резултата. Услови мерења пре свега обухватају:

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

У основи се поступци мерења деле на оне који се користе за мерење на радним местима и на оне који служе за добијање података о буци у животној средини (на улици, у стану, у центрима за рекреацију и друго). Најчешће уз одговарајуће препоруке иду и прописи који одређују допуштене вредности нивоа буке у конкретним условима. Да би се могло што боље проценити штетно дејство буке, неопходно је располагати што потпунијим и што тачнијим подацима о основним параметрима који карактеришу буку као физичку појаву. Мерење буке је, захваљујући развоју аналогне и дигиталне технике у области мерних инструмената, достигло задовољавајућу тачност и може у потпуности да одговори условима и захтевима које постављају бројни прописи и норме. За предузимање било каквих мера заштите од буке, само се на основу мерења може ефикасно и исправно поступити. Без одговарајућих мерења нема ни адекватне борбе против буке.

Због тога су израђени бројни инструмент и уведене мање или више сложене методе помоћу којих се може измерити практично сваки параметар који даје податке о буци.

У основи постоје две врсте мерења буке:

- објективна,
- субјективна.

У објективна мерења спадају сви поступци који служе за изналажење физичких параметара буке. Уведене су стандардне методе, лако применљиве, с циљем да се дође до објективних параметара чије је дејство на човека познато. На основу обраде података могуће је проценити и степен угрожености, према прописима и нормама за конкретне услове.

Субјективне методе мерења односе се на процену ометања буком и усмерене су ка одређивању директних реакција човека на физичко стање средине. Евидентно је да баш та субјективна мерења дају најверодостојније податке, међутим, није их увек у пракси једноставно и извести. Зато се све више тежи ка налажењу везе између субјективних процена ометајућег дејства буке и објективних параметара, како би се поступцима објективног мерења могло што тачније доћи до степена штетности.

Пре мерења буке на отвореном треба да се утврде метеоролошко-технички услови (брзина ветра, температура ваздуха, влажност, атмосферски притисак) по службеној дужности технички подаци метеоролошке службе или уз помоћ одговарајућих мерних инструмената и то:

- инструменти за мерење брзине ветра (на пример, анемометар) морају имати опсег мерења не мањи од 1 до 10 м / с, а грешка није већа од  $\pm 0,5$  м / с;
- инструменти за мерење температуре ваздуха (на пример термометар) не смеју имати грешке више од  $\pm 1$  °;
- уређаји за мерење релативне влажности ваздуха (на пример хигрометар) грешка не већа од  $\pm 2\%$ ;
- инструменти за мерење атмосферског притиска (на пример, барометар) не смеју имати грешке више од  $\pm 2$  мм Хг.

### 3.1 Одређивање еквивалентног нивоа буке

Код мерења и анализе буке најважније је да се одреди ниво буке који треба нормирати, упоређивати са дозвољеним нивоом за одређена места или просторе човековог боравка. То је такозвани меродавни ниво.

Меродавни ниво се одређује познатим методама мерења или израчунавањем еквивалентног нивоа, коме се додаје корекција нивоа за разлиците карактере комуналне буке (константна, испрекидана бука итд.).

Еквивалентни ниво буке се израчунава помоћу једначине:

$$L_{eq} = 10 \log \left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n N_i 10^{0,1 L_{Ai}} \right| \text{ dB(A)}$$

Где је:

$L_{eq}$ - еквивалентни ниво dB(A),

$L_{Ai}$ - ниво буке у dB(A) који одговара средњој вредности класног интервала чија ширина може бити 2,3,4 или 5 dB(A),

$N_i$ - број прочитаних мераих резултата који припадају класи "i",

$N$  - укупан број прочитаних мерних резултата добијених у току мерења

$n$  - број класних интервала којима су обухваћени сви измерени нивои.

Еквивалентни ниво одређује се мерењем у ту сврху специјално конструисаним мерним уређајима.

У односу на фреквенцијски спектар и карактер комуналне буке (непроменљива, променљива, импулсна) меродавни нивои се одређују на следећи начин и то:

- За буку сталног нивоа широкопојасног фреквенцијског спектра меродавни ниво је онај ниво који се чита на сонометру у dB (A),
- За буку променљивог нивоа меродавни ниво одговара измереном или израчунавом еквивалентном нивоу,
- Меродавни ниво импулсне и тоналне буке добија се на тај начин што се измереном еквивалентном нивоу додаје корекција од 5 dB (A),
- За испрекидану буку меродавни ниво одређује се на тај начин што се еквивалентни ниво, када је бука највећа, умањи за  $\Delta L$  у dB (A). Корекција  $\Delta L$  зависи од односа времена трајања највећег нивоа и укупног времена у коме је вршена анализа буке у %. Вредности  $\Delta L$ , у зависности од трајања појачане буке и укупног трајања у (%) приложени су у табели 1.

| Трајање појачане буке у односу на цело трајање | 50-100% | 25-50% | 10-25% | 10-4% |
|------------------------------------------------|---------|--------|--------|-------|
| Умањен за $\Delta L$ у dB                      | 0       | 3      | 6      | 10    |

Табела 1. Вредности  $\Delta L$  у зависности од трајања појачане буке и укупног трајања у (%)

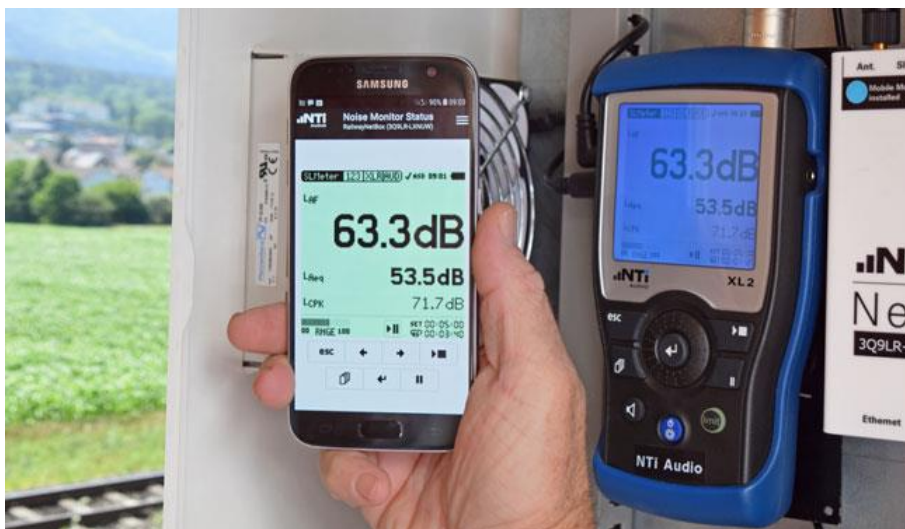
## 4. Мерни инструменти

Мерни инструменти за мерење буке могу се поделити у три велике групе:

- Аналогни,
- Дигитални,
- Засновани на софтверском решењу.



Слика 10. *Аналогни мерни инструмент за мерење буке* [3]



Слика 11. Тренутно доступна савремена софтверска решења за мерење буке на мобилним телефонима [3]



Слика 12. Мерење буке путем мобилне апликације [3]

Мерни инструменти дизајнирани за мерење буке морају имати важећа уверења о сертификацији. Данас је у употреби веома широк дијапазон мерних инструмената намењених за мерење параметара буке у амплитудном, временском и фреквенцијском домену. Физички параметри буке мере се на различите начине, зависно од тога који прописи се примењују и које норме су за одређену област предвиђене.

Мерни инструменти су, нарочито последњих десетак година, израђивани искључиво у складу са међународним прописима, како би се и добијени резултати могли што лакше упоређивати. У основи, има три врсте инструмената, аналогних или дигиталних, за мерење параметара буке. Они могу служити:

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

Фонометар (мерач нивоа буке) је основни инструмент за одређивање нивоа буке. Пошто по дефиницији има разних вредности нивоа који се мере, то се и фонометри разликују међусобно, не само по тачности него и по томе шта све могу да мере.

Слика 13. приказује основни инструмент за одређивање нивоа буке-Фонометар.



Слика 13. Инструменти за одређивање нивоа буке – Фонометри [3]

Инструменти за мерење буке врше претварање звука у неку другу енергију, односно помоћу микрофона и претварача звук се детектује и претвара у електрични сигнал.

Различити инструменти за мерење буке имају могућност статистичке или фреквентне анализе примљеног сигнала, а могу даље вршити рачунање измерених вредности у жељени облик или одговарајуће јединице, све зависно од проблема који се анализира.

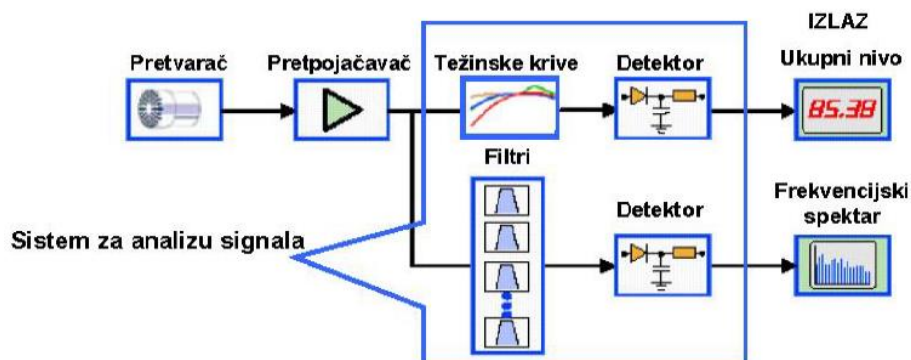
Често се уз фонометар додаје филтер (октавни, трећинско октавни), и то пасивни, Којим се лако одређује амплитудни спектар буке. Постоје и филтери разних пропусних опсега, као и они који се користе за прецизна и специјална мерења. Посебна врста филтера су тзв. анализатори буке, и то пре свега анализатори у реалном времену са великим могућностима за одређивање спектра буке.

Иако мерни инструменти могу бити по природи веома различити (аналогни, дигитални или засновани на софтверском решењу), ипак у суштини сваки мерни систем (ланац) се састоји из неколико основних карика. Групу инструмената који могу одмах или после одговарајуће обраде да служе за статистичку обраду података чине разни тзв. статистички анализатори.

Постоје и разни аутоматизовани поступци (све више у примени), који захваљујући микропроцесорима, омогућавају да један инструмент може да служи за одређивање већег броја података, било у реалном времену било при каснијој обради.

#### 4.1 Мерни ланац

Данас је у употреби вема широк дијапазон мерних инструмената намењених за мерење параметара буке у амплитудном, временском и фреквенцијском домену. Иако мерни инструменти могу бити по природи веома различити (аналогни, дигитални или засновани на софтверском решењу), у суштини се сваки мерни систем састоји из неколико основних карика, приказаних на слици...



Слика 14. Мерни ланац [3]

У зависности од структуре, пре свега система за анализу сигнала, инструменти се могу поделити у три велике групе:

- инструменти за одређивање укупног нивоа буке, где систем за анализу сигнала садржи тежинске криве и детектор сигнала,
- инструменти за фреквенцијску анализу сигнала, где систем за анализу сигнала садржи скуп филтера за филтрирање улазног сигнала и детектор сигнала
- комбинација већ наведених типова инструмената.

Основне карике мерног ланца су:

1. **Претварач** са задатком да претвара звучне осцилације изазване дејством звучних таласа у електрични сигнал.
2. **Предпојачавач** са задатком да појача електрични сигнал релативно мале амплитуде који се добија на излазу претварача. Предпојачавач има подесиво појачање чиме се омогућава покривање широког динамичког опсега.
3. **Систем тежинских кривих** са задатком да пондеришу сигнал у фреквенцијском домену чиме се добија тренутни ниво сигнала са А, Б, Ц, Д или линеарном пондерацијом.
4. **Скуп филтера** намењених за анализу сигнала у фреквенцијском домену. Као резултат фреквенцијске анализе добија се фреквенцијски спектар анализираног сигнала.
5. **Детектор** са задатком одређивања енергетски средње вредности сигнала, односно сигнала који је пропорционалан ефективној вредности звучног сигнала.
6. **Резултат мерења** и анализе буке може бити приказан на самом екрану инструмента или неком другом излазном уређају као што је плотер или штампач.

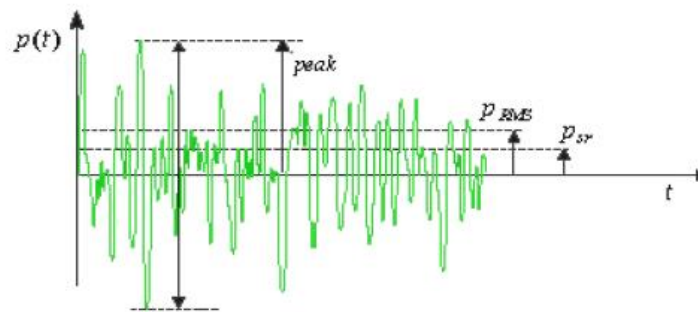
Мерни ланац је поуздан онолико колико је поуздана његова најслабија карика. Ипак најзначајнију карику у мерном ланцу чини претварач и од његовог избора у многама зависи прецизност самог мерења.

Кондензаторски микрофон је данас прихваћен као стандардни акустички претварач за сва мерења буке због својих стабилних и поузданих карактеристика у широком фреквенцијском подручју.

Кондензаторски микрофон конвертује промене звучног притиска у електрични сигнал који се затим појачава у предпојачавачу, који мора увек бити повезан веома близу микрофона, јер је његова основна намена да конвертује веома велику импедансу микрофона у малу излазну импедансу, чиме се омогућава коришћење дугих каблова и повезивање на инструменте са релативно малом улазном импедансом.

Последњу карику у мерном ланцу, пре излазног сигнала за приказ резултата, представља детектор сигнала чији је основни задатак да конвертује временски променљив сигнал у један број који ће бити приказан на екрану инструмента.

Сигнал који напушта филтерску секцију, или секцију за фреквенцијску пондерацију тежинским кривама, води се у детектор сигнала. Временски променљив сигнал на улазу детектора, на излазу детектора може се описати коришћењем различитих величина: ефективне вредности (РМС), средње вредности, тренутне вредности и вршне вредности (пеак) Најчешће су у употреби ефективна и вршна вредност.



Слика 15. Величине за описивање временски променљиве [3]

Анализом звука у временском домену добија се информација о интервалима појављивања и трајању појединих осцилација у секундама, минутима, часовима, док се анализом звука у фреквенцијском домену добија информација о учестаности појављивања појединих осцилација (У Hz) односно броју осцилација у секунди.

Мерењем укупног нивоа буке добија се информација о укупно генерисаној енергији извора буке, али тај податак није довољно индикативан за дефинисање начина генерисања буке и одређивање склопова сложене структуре извора која генерише највећи део енергије. Зато је неопходно имати детаљније информације о измереној буци у смислу одређивања њеног фреквенцијског садржаја.

У том циљу приступа се фреквенцијској анализи буке и одређивању нивоа компонената сложеног сигнала на различитим фреквенцијама. Као резултат фреквенцијске анализе добија се фреквенцијски спектар сигнала који даје приказ нивоа компонената (амплитуда) у функцији фреквенције.

Познавање фреквенцијског спектра, који у многим случајевима даје детаљније информације о самом извору буке, омогућава повезивање одговарајућих компонената спектра са појединим елементима извора чиме се могу идентификовати доминантни извори буке. Такође, у процедуре управљања буком и предузимања одговарајућих мера за њено снижавање веома је важно имати информације о фреквенцијском садржају генерисане буке. Избор мера за снижавање буке увелико зависи од типа буке, односно њеног фреквенцијског садржаја. Примењују се различите мере за снижавање нискофреквенцијске и високофреквенцијске буке.

## 5. Сензори за мерење

Сензор је уређај који „ослушкује“ наше окружење и говори нам шта се дешава. То су значи електронске компоненте које прикупљају податке из нашег окружења и преводе их у електронске импулсе или вредности струје. Сваки сензор је намењен за неки специфични инпут – температуру, кретање, притисак, светлост, влажност, итд.

Употреба микропроцесора омогућава стварање врло сложених алата који проналазе своју примену у разним областима људске активности. Микропроцесори су дигитални уређаји који раде са бинарним кодовима. У облику бинарног кода може се замислити готово било који електрични сигнал. Међутим, живимо у аналогном свету где већина уређаја нису дигитални. Сигнали света око нас нису увек електрични. Да би сложени интелигентни дигитални системи могли да перципирају информације из спољног света, потребни су интерфејс уређаји који претварају различите физичке величине у електричне сигнале. Такви интерфејс уређаји су сензори.

Сензор је уређај који осећа спољне утицаје и реагује на њих променом електричних сигнала. Спољни утицаји се схватају као квантитативна карактеристика предмета, његовог својства или квалитета који треба сагледати и трансформисати у електрични сигнал. Сврха сензора је претварање физичке величине (електричне или најчешће неелектричне) у електрични сигнал, који се може даље појачати, претворити помоћу електронских уређаја. Излазни сигнали сензора могу бити напон и струја, описаних карактеристика као што су амплитуда, фреквенција, фаза или дигитални код. Скуп карактеристика који описују сигнал, назива се формат излазног сигнала. Сваки сензор карактерише скуп улазних параметара (било које физичке природе) и скуп излазних параметара.

Мерни претварачи се у стручној литератури различито називају: давачи, сензори, трансмитери, трансдјусери, мерни преносници итд.



Слика 16. *Шема мерног претварача (сензора)* [1]

Сензор је дефинисан као уређај који мери физичку величину (светло, звук, силу) и претвара их у лако читљив формат. Ако су правилно калибрирани, сензори су високо прецизни уређаји.

Сензор је уређај који информацију о стању неког физичког објекта које се огледа у вредности физичке величине, претвара у електрични сигнал. Другим речима користићемо термин сензор за претварач који претвара један облик енергије (кинетичка, топлотна,...) у електричну енергију.

Подела сензора према величини која се мери:

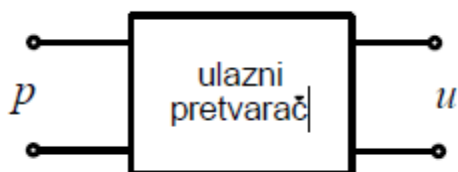
- електрични,
- механички,
- акустични,
- хемијски,
- биолошки,
- магнетни,
- оптички,
- термички итд.

Електроакустички претварачи (сензори) су уређаји који се налазе на почетку и на крају сваког електроакустичког ланца. Под електроакустичким ланцем се подразумева технички систем у коме се звучна информација преноси у електричном домену.

Значајна примена електроакустичких претварача је у области акустичких мерења, где се из акустичког сигнала одређују разни релевантни показатељи, као и у области инфразвука и ултразвука где се звучни сигнал користи за различите инжењерске циљеве.

Чињеница је да се анализа стања у звучном пољу увек обавља у електричном домену, а на основу електричног сигнала који репрезентује неки физички показатељ поља. Претварање тог показатеља поља у електрични сигнал врше електроакустички претварачи. Када се анализира звучно поље у ваздуху или другим флуидима параметар који се посматра као показатељ стања је звучни притисак, па је за анализу потребно да се добије електрични сигнал који ће бити еквивалент притиска. Када се анализира звучно поље у чврстим телима електрични сигнал може бити еквивалент брзине, помераја или убрзања.

Електроакустички претварачи су системи преноса који се могу дефинисати преко својих улазних и излазних величина. Ако је прилагођен за рад у ваздуху или у води улазна величина улазног претварача је звучни притисак. Ако је предвиђен да се користи за звучно поље у чврстим телима улазна величина је неки показатељ у чврстим материјалима (померај, брзина, убрзање). Излазни сигнал улазних претварача је нека електрична величина, по правилу напон. Улазни електроакустички претварач за ваздушну средину са притиском на улазу и напонам на излазу принципијелно је приказан на слици 17.



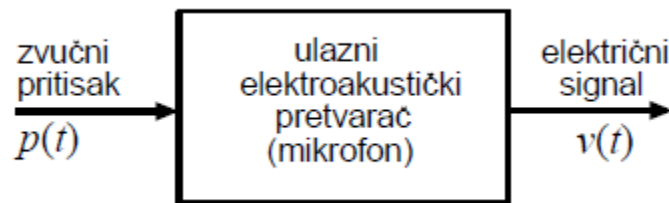
Слика 17. Улазни електроакустички претварач са означеном улазном и излазном величином [2]

У зависности од медија за који је претварач прилагођен, односно од улазне физичке величине коју претвара у напон, улазни претварачи могу бити: микрофони, контактни микрофони и хидрофони.

Посматрање звучног притиска као сигнала у пракси подразумева његово претварање у електрични сигнал, па се праћење стања у звучном пољу врши посредно, анализом добијеног електричног сигнала.

Трансформација звучног притиска у електрични сигнал врши се справама које се називају улазни електроакустички претварачи. Њихова функција је шематски приказана на слици 18. Претварач направљен да звучни притисак у ваздуху претвара у електрични сигнал назива се микрофон. Јасно је да се и он мора посматрати као посебан систем преноса са неком својом карактеристиком. Добијени електрични сигнал одређен је не само притиском који делује на микрофон, већ и функцијом преноса примењеног претварача.

Електроакустички претварач генерише сигнал сразмеран притиску, који је по својој природи скаларна величина.



Слика 18. Шематски приказ рада микрофона као електроакустичког претварача [2]

## 6. Калибрација

Калибрација (Calibration, eng.) је реч енглеског порекла и у основи означава – умеровање, односно подешавање мерних инструмената, чак се користи и у значењу „удешавања нечега према одређеној мери“. Дефиниција калибрације објашњава да је она скуп операција које под одређеним условима стварају однос између вредности мерног инструмента, вредности које представља материјализована мера, референтни материјал или вредности које реализује стандард мерења.

Подразумевано је да сваки мерни инструмент мора да се одржава, сервисира и подлеже редовним техничким прегледима, чак и у случају да није покварен. Временом, као и коришћењем инструмената, карактеристике истих се због старења компоненти или погрешне употребе деградирају, и самим тим, умањује се поузданост мерења резултата. На пример, код сложених електронских мерних инструмената, мерење параметара је међусобно повезано на потпуно непредвидив начин, што значи да се очекује да тачност мерења инструмената буде ограничена на одређени временски период. Из тог разлога, за скоро све произвођаче електронских мерних инструмената, рок важности тачности мерења за поједине параметре је дата за период од највише две године. Све индуковане промене се не могу избећи, могу бити на време откривене, математички исправљене и прилагођене за калибрацију.

Пре сваког мерења неопходно је извршити калибрацију микрофона и инструмента заједно.

Калибрацијом се:

-Проверава функција мерног система од микрофона до система за индикацију,

-Обезбеђује поузданост и прецизност мерења

Микрофон, као најосетљивија карика мерног ланца, фабрички се калибрише чиме му се дефинише осетљивост дата у његовој калибрационој карти.

Осетљивост микрофона, дата у  $mV/Pa$ , потребно је унети као почетни податак при калибрацији мерног ланца.

Осетљивост микрофона је потребно проверавати у одређеним интервалима лабораторијским методама.

У истим интервалима се еталонира и мерило нивоа звука.

За теренска мерења примењује се једноставнији метод калибрације мерног ланца помоћу калибрисаних извора звука.

Калибрисани извор звука на дефинисаној фреквенцији генерише звучно поље дефинисаног нивоа.

За калибрацију мерног ланца за мерење нивоа буке углавном се користе два типа калибрисаних извора звука:

пистонфон,

акустички калибратор звука.



Слика 19. Пистофон и акустички калибратор звука [3]

Према стандарду ISO 9612:2009:

- Калибрација на терену обухвата проверу акустичке калибрације целог мерног система,
- Калибрација на терену мора да обухвата примену калибратора звука који задовољава захтеве IEC 60942:2003, класа 1.
- Калибрација на терену мора да се изврши на тихој локацији.
- Пре сваке серије мерења и на почетку сваке дневне серије мерења мора да се врши калибрација на терену са одговарајућим подешавањем.
- На крају сваке серије мерења и на крају сваке дневне серије мерења мора да се врши калибрација на терену без подешавања.
- Ако се читавање на било којој фреквенцији на крају серије мерења разликује од читавања за исту фреквенцију на почетку те серије за више од 0,5 dB, онда резултати те серије мерења морају да се одбаце.
- Пре и после сваке серије мерења се врши калибрација на терену са одговарајућим подешавањем.

## 7. Заштита од буке

Здравље је стање потпуног физичког, душевног и социјалног благостања, а не само одсуство болести и изнемоглости. Пратећи ту дефиницију, радна група Светске здравствене организације је 1971. изјавила да бука мора бити препозната као велика претња људском благостању.

Пошто људско ухо може да региструје само звучне таласе између 20 и 20 000 Hz, веома је важно да се поштује закон о заштити од буке ради заштите нашег здравља (дозвољена граница буке износи 65 dB).

Бука је цена живљења у урбаној или индустријализованој средини. Она се не може елиминисати, али се може умањити регулацијом саобраћаја, ограничењем ноћног саобраћаја, променама ваздушних коридора, строгим техничким прописима за возила, дуплим прозорима, зидовима са изолацијом, применом личних заштитних средстава и др.

Заштита од буке обухвата техничку и медицинску заштиту.

Међународни дан подизања свести о штетном утицају буке на здравље успостављен је пре двадесет две године. Договорено је да то буде свака последња среда у априлу месецу. У Србији је донето много правилника у вези са буком, а најзначајнији је Закон о заштити од буке, донесен 2010. године који описује мере заштите, појмове о буци и казне за прекорачење буке.

За радни и животни простор значајна је могућност изолације нежељених звучних таласа. Наравно, пре свега треба тежити елиминацији или максималном умањењу фактора који доводе до појаве звука (непожељног), а потом примени могућих метода за његову изолацију и спречавање ширења на околину.

Полазећи од објективних параметара буке и пратећи дејство буке на човека, уведене су разне мере заштите, како би се ниво буке свео у допуштене вредности. Да би се смањио штетни утицај буке, па и вибрација, које су најчешћи пратилац буке, прибегава се са мање или више успеха заштита и то углавном на три начина:

- путем индивидуалних заштитних средстава
- колективним мерама заштите,
- смањењем нивоа буке на самом извору.

## 7.1 Индивидуалне мере заштите

Индивидуална заштитна средстава подразумевају разне типове заштитника. Заштитне слушалице су одлична заштита од буке. Отвори за уши су широки и асиметрични, па могу лако да се прилагоде ушним шкољкама. Степен пригушења буке је 23-28 dB. Заштитни шлем са слушалицама, може да се користи у целини или из компоненти. Овим средствима се може постићи заштитна моћ у опсегу од 15 до 30 dB, па чак и више, што представља значајно смањење нивоа буке, првенствено у односу на човечије уво. Заштитни чепићи за уши (пенасти чепићи) су идеална заштита од буке, посебно за људе који су интензивно изложени утицају буке. Степен пригушења је до 34dB. У екстремно јакој буци је потребно носити и чепове за уши и заштитне слушалице.



Слика 20. Средства индивидуалне заштите [4]

На радним местима на којима бука прелази 90dB, могу се запошљавати само особе које су на основи претходног специјалистичког здравственог прегледа проглашене способнима за рад на таквим радним местима. Особе се морају у току рада подвргавати периодичним специјалистичким здравственим прегледима, укључујући и аудиометријско испитивање слуха, у складу са чланом 49. ставак 3. основног закона о заштити на раду. Када је бука већег интензитета од дозвољеног, за осмочасовно радно време, време излагању се знатно смањује, а примена личних заштитних средстава је обавезна.

| Време излагања | Јачина буке |
|----------------|-------------|
| (h)            | (Db)        |
| 6              | 90          |
| 4              | 95          |
| 2              | 100         |
| 1              | 105         |
| 0,5            | 110         |
| 0,25           | 115         |

Табела 2. Дозвољено време излагања буци

## 7.2 Колективне мере заштите

Опште мере заштите или, како их често називају, колективне мере, везане су запоступке смањења нивоа буке у околини у којој човек ради или на путу простирања звучних таласа (зидови и друге препреке у стамбеним зградама, школама, болницама и другде). На ниво буке у погонима, у индустрији, може се утицати до извесне мере (максимално до око 10 dB) апсорпционим елементима, који се постављају на зидове или на посебне панеле и препреке у просторији.

## 7.3 Смањење нивоа буке на самом извору

Ниво буке на месту пријемника зависи од:

- Звучне снаге извора (аутомобила, камиона, возова и сл.);
- Дужине путање којом се бука протиче, односно растојања између извора буке и пријемника;
- Окружења у коме се налази пријемник.

Наведени елементи од којих зависи ниво буке на месту пријема одређују и основне принципе контроле буке:

- Контрола на самом извору буке;
- Контрола на путевима преношења;
- Контрола на месту пријемника.

Најефикаснији начин смањења нивоа буке везан је за сам извор звука.

Ако разним техничким средствима и иновацијама може да се смањи ниво буке одмах, на самом извору, без утицаја на рад неке машине или мотора, тада се у околини мења ситуација у погледу буке и резултат је евидентан. Захваљујући великом напретку технике, а нарочито новим материјалима, могуће је смањити буку на извору чак и за више десетина децибела, што ствара потпуно нову ситуацију у производним погонима, који по правилу имају као карактеристику висок ниво буке. Примарна мера је контрола буке на самом извору, јер уколико се на извору буке предузму све мере за смањење нивоа буке примена других метода није неопходна. Када није изводљиво применити мере за контролу буке на месту самог извора, примењују се мере контроле на путевима преношења звука од извора до пријемника. Овакав приступ се највише примењује за контролу буке у животној средини. Бука се не шири у простору само праволинијски него се јављају бројне рефлексије, које зависе од положаја физичких препрека и које у различитој мери буку апсорбују.

## 8. Закључак

Како бисмо смањили буку и њен негативан утицај на животну средину и здравље људи потребно је предузети мере заштите, а пошто највише буке стварају саобраћај и бука из угоститељских објеката, угрожени грађани се могу обратити за помоћ надлежним службама.

Како бисмо побољшали рад надлежних служби и подигли еколошку свест о штетном утицају буке, морамо радити на сталној едукацији, поштравању казни за загађиваче и држава би требало да улаже више новца у заштиту животне средине и више прича о том проблему у јавности. Школе и медији би требало бар једном месечно да посвете пажњу проблемима у вези заштите животне средине. Није бука једини проблем који утиче на животну средину али је њен утицај на животну средину и здравље људи велики, јер се често догађа да су проблеми са срцем и високим притиском узроковани буком.

Деловање буке на човеково здравље посебан је проблем заштите. Буку је немогуће избећи али је можемо изоловати употребом савремених технологија и прописаним коришћењем одговарајућих заштитних средстава. Организације које се баве заштитом на раду, такође требају бити укључене у процес мерења и заштите од буке, и требају се укључити у планирање нових или алтернативних радних метода или процеса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <https://milenkovicmehatronika.wordpress.com/2020/07/21/подела-и-конструкција-мерних-претвар> - приступљено 15.11.2020. године,
2. Драгана Шумарац Павловић, Миомир Мијић (2017). Електроакустика. Београд.
3. <https://www.znrfak.ni.ac.rs/serbian/010-STUDIJE/MAS/PREDMETI/IZZS/I%20GODINA/110-BUKA%20U%20ZIVOTNOJ%20SREDINI/PREDAVANJA/2018-19/Instrumenti%20za%20merenje%20buke.pdf> – Приступљено 25.10.2020. године
4. <https://zastitanaradu.com.hr/novosti/Buka-i-zastita-na-radu-14> – Приступљено 26.10.2020. године
5. <https://fedorabg.bg.ac.rs/fedora/get/o:20154/bdef:Content/get> – Приступљено 21.10.2020. године
6. <https://soundear.com/decibel-scale/> - Приступљено 22.10.2020. године
7. Др Божо Илић (2019). Сензори и актуатори. Висока техничка школа струковних студија, Нови Сад.