

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Индустријски инжењеринг

Предмет: Инжењеринг безбедности и управљање ризиком

Број индекса: 325/2011

Стеван М. Коматина

**Бука на радном месту и средства за личну
заштиту од буке**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Ментор: доц. др Иван Мачужић

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада студент треба да опише настанак и могуће нивое буке, као и које су то величине које карактеришу ниво буке, међународне и националне стандарде везане за буку, начине и методе мерења и контроле буке. Такође студент треба да опише на који начин бука утиче на здравље људи, како се заштитити од буке помоћу средстава личне заштите и опише нека савремена средства за личну заштиту од буке.

Поред тога студент ће, у оквиру експеримента, у лабораторији која се налази у просторијама факултета, показати утицај појединих средстава личне заштите слуха на повећање толеранције јаким тоновима високе фреквенције, при чему ће користити неопходну опрему за мерење буке, као и опрему за репродуковање звука.

Препоручена литература:

[1] Д. Милорадовић, П. Тодоровић, „Физичке штетности – Бука на радном месту“, поглавље у монографији „Безбедност и заштита на раду – Књига 2“, БЗР Едукациони центар, Машински факултет у Крагујевцу

[2]

[3]

Крагујевац, 10.9.2014. год

ментор:
доц. Др Иван Мачужић

Резиме:

Бука се јавља у све већој мери као проблем у свим сферама живота, са развојем технике и технологије долази до њеног смањења у некој мери али не довољно да је можемо занемарити. Како радно време испуњава већи део нашег дана, неопходно је осврнути се и побринути да бука има што мањи утицај на нас, квалитет нашег рада и живота. У овом раду ћемо се мало више позабавити утицајем буке на човека и њеним нежељеним дејствима, као и могућношћу побољшања услова рада и личне заштите разним методама за контролу и заштиту од буке, а самим тим и побољшања резултата, учинка и заштите здравља људи.

Summary

Noise appears increasingly as a problem in all spheres of life. Development of technology leads to its reduction to a certain extent, but not enough so that it can be ignored. As working hours occupy a great part of our day, it is necessary to do our best in ensuring that noise has the least impact on us and our quality of work and life. In this paper, we are going to address the influence of noise on humans, its adverse effects, as well as the possibility of improving working conditions and personal protection with the use of various methods for the control and protection from noise, and consequently improve the results, performance and protection of human health.

Садржај:

1. Увод	1
2. Звук	2
3. Бука	6
3.1. Врсте и типови буке	6
3.2. Физичке особине буке	12
3.2.1. Амплитуда звучног таласа	12
3.2.2. Фреквенција звучног таласа	13
3.3. Често коришћени термини у акустици	15
3.3.1. Јачина звука	15
3.3.2. Октавни опсези	16
3.3.3. Криве за процену буке	16
3.3.4. Ниво звучне снаге	17
3.4. Величине за изражавање нивоа изложености буци	18
3.4.1. Еквивалентни ниво буке, <i>Leq</i>	18
3.4.2. Ниво изложености буци, <i>Lex</i>	18
3.4.3. Доза буке, <i>D</i>	18
3.4.4. Формуле за одређивање просечних вредности нивоа буке	19
4. Стандарди	20
4.1. ISO стандарди	20
4.2. Европска Директива 2003/10/ЕС	20
4.3. OSHA стандарди за буку на радном месту	21
4.4. Национални прописи за буку на радном месту	22
5. Мерење буке	25
5.1. Уређаји за мерење буке	27
6. Утицај буке на здравље људи	31
6.1. Оштећења слуха услед дејства буке	32
6.2. Психофизиолошки ефекти буке и утицај на промене у понашању	33
6.3. Други негативни ефекти буке	34
7. Заштита од буке	36
8. Методе за контролу буке	38
8.1. Контрола буке инжењерским методама	39
8.2. Административне мере у контроли буке	39
8.3. Употреба личних средстава заштите радника од буке	40
8.4. Контрола буке деловањем на извор буке	40
8.5. Контрола буке деловањем на путању простирања буке	40
8.6. Заштита радника од буке	44
8.7. Активна контрола буке	45
9. Примена средстава за личну заштиту слуха	47
9.1. Заштита слуха на радном месту	47
9.1.1. Типови средстава за личну заштиту слуха	48
9.1.2. Избор одговарајућих средстава за заштиту слуха	60
9.2. Оцена редукције буке и њена примена у одређивању нивоа заштите коју обезбеђује средство за заштиту од буке	60
9.2.1. Коефицијент редукције буке (<i>NRR – Noise reduction rating</i>)	60

9.2.2. Оцена јединственим бројем (<i>Single Number rating</i> – <i>SNR</i>).....	61
9.3. Предности и мане чепића за уши и антифона.....	61
9.4. Људски аспект при избору заштитних средстава.....	62
9.5. Утицај неношења средстава личне заштите на ниво заштите коју та опрема пружа.....	63
10. Испитивање утицаја средстава личне заштите	65
11. Закључак.....	70
12. Литература	71

1. Увод

Свакодневне активности људи, како у урбаној тако и у руралној средини, спроводе се у складу са присутним и интензивним цивилизацијским напретком, који подразумева све веће присуство и коришћење техничко-технолошких средстава и других плодова научно-истраживачког рада. Несумњиве користи скоро су увек праћене постојањем нечега што је у мањој или већој мери неповољно за човека, процес рада, средства рада и природу. Једна од таквих манифестација је звучна (бука).

Путем чула слуха људи примају велику количину информација из околине. Дуготрајни рад у јако бучној средини може да доведе до оштећења слуха које јако утиче на квалитет и комфор живота. Различите особе имају различит став према жељеном и нежељеном звуку, тако да неки звук може бити бука за неку особу, а веома пријатан угођај за друге. Према томе бука је само субјективна категорија, док је звук физичка категорија. Основна претпоставка да се звук третира као бука је да постоји субјекат који опажа звук и коме тај звук смета. У свакодневном говору и литератури која обрађује проблеме звука и буке, уобичајена је пракса да се користи термин бука за звук који се у општем случају третира као нежељени.

Радник је сигурно изложен ризику од оштећења слуха ако:

- је на радном месту толико бучно да мора да виче приликом разговора са колегама
- му звони у ушима након завршеног посла и
- након посла не чује добро

Прекомерно излагање буци може да доведе до привременог и трајног поремећаја прага чујности, али и до бројних психичких и физичких проблема као што су поремећај сна, мучнина, бол у глави, нервоза, пад концентрације. Треба увек имати у виду да бука може да оштети слух пре него што било шта приметите.

Најбоља заштита од буке се постиже предузимањем одговарајућих активности на самом извору буке. Смањење нивоа буке којој је радник изложен може се постићи избором машина које при раду стварају нижи ниво буке, звучном изолацијом машине, њеним премештањем или измештањем радника у простор са нижим нивоом буке. Ако ни једна од ових метода не даје задовољавајуће резултате тада треба ставити радницима на располагање опрему за личну заштиту слуха и кроз организационе мере смањити време излагања радника буци.

Изабрано средство/опрема за заштиту слуха треба да: пружи потребну заштиту у складу са нивоом буке и карактеристикама извора, буде одговарајућа за дати посао, одговара по величини, не ствара неугодност при ношењу, може да се чисти и правилно одржава и да има упутство за коришћење.

2. Звук

Звук је физичка појава настајања звучних таласа који стимулативно делују на чуло слуха. Производе га сви објекти и тела која вибрирају. Настаје у еластичној средини и распростире се од места настајања (извора) одређеном брзином у виду звучних таласа. Распрострањење звучних таласа (таласни фронт) везано је за кретање, односно, осциловање молекула еластиче средине.

Област науке која се бави звуком назива се акустика (грч. *acousticos* – слушни) и покрива све области генерисања, распрострањања и перцепције звука, без обзира на природу његовог извора и пријемника.

Да би настао звук потребно је да буду испуњена два услова:

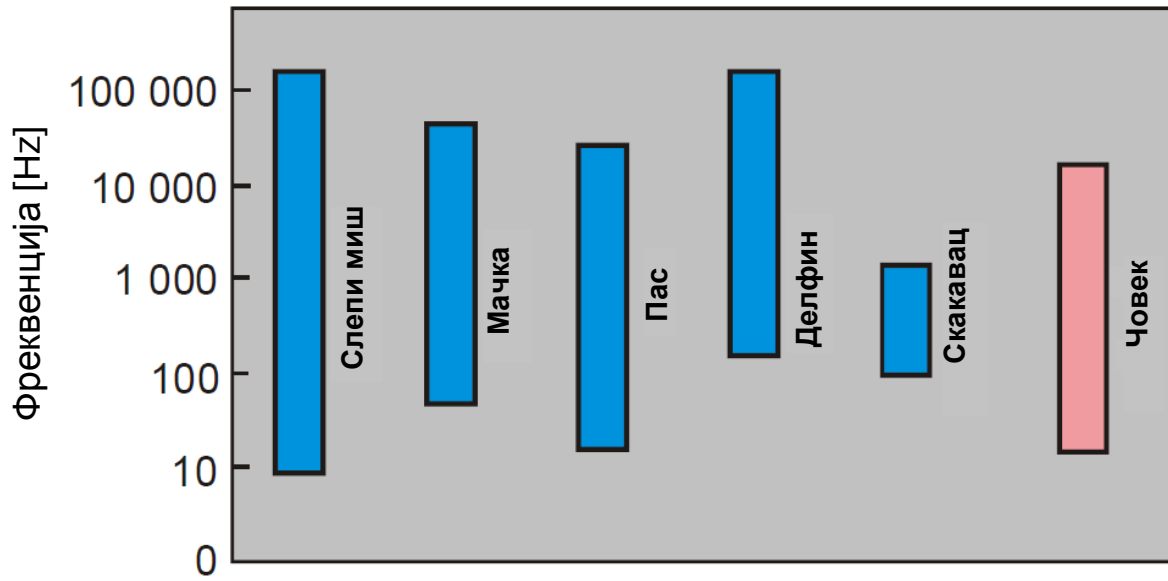
- да постоји звучни извор
- да се звучни извор налази у еластичној средини

Звук настаје тако што у зони контакта ваздуха са телом (звучним извором) које осцилује, долази до промене густине ваздуха по слојевима, а тиме и до промене парцијалних притисака. Промена притиска се преноси на даље слојеве у форми таласног фронта. Звучни таласи могу бити трансферзални и лонгитудинални и простиру се кроз све материјале. Брзина звука кроз суви ваздух је 344 m/s, кроз воду 1525 m/s, а кроз чврста тела (нпр. бакар) око 3350 m/s. По структури и облику сигнала звук може бити једноставан (прост) и сложен. Уколико осциловање предмета ствара складне-хармонијске вибрације, онда се говори о звуку. Звук је у домену акустичног опсега, мањег или већег интензитета, и не претставља општи проблем.

За звучне таласе карактеристични су рефлексација (ехо), дифракција и интерференција. Комбинација ових манифестација и учинак разних извора у стварању сложених и неусклађених вибрација дефинише се као бука, а она је та која ремети услове живота, рада у радном простору и окружењу. Звук уопште, дефинише се фреквенцијом и амплитудом (јачином) звучног таласа.

Фреквенција представља број осцилација у јединици времена и ствара осећај „нижег“ или „вишег“ звука. Изражава се у херцима [Hz]. Примера ради, точак који се обрће са 10 обртаја у секунди производи звук фреквенције 440 Hz. Више фреквенције су штетније од нижих.

Просечно, људи чују звукове у фреквентном опсегу од 20-20 000 Hz, а најосетљивији су на фреквенције 1 000 – 4 000 Hz. То их сврстава у средње чулна бића. Референтна фреквенција за утврђивање границе бола и границе чујности за људе је 1000 Hz. Испод 20 Hz је инфразвук, који нема чујну, већ вибрациону манифестацију. Изнад 20 000 Hz је ултразвук, кога човек не чује.



Слика 1. Фреквентни опсег чујности за разна бића[9]

Поред фреквенције од значаја је интензитет, енергија звука. Звучни талас изазива кретање молекула ваздуха, али и промену околног притиска. Степен помераја је амплитуда звучног таласа. Како он директно одражава енергетски учинак звучног таласа кроз остварени рад, амплитуда је истовремено и интензитет звучног таласа:

$$I = 10 \lg \frac{P_s}{P_{so}} = 20 \lg \frac{p}{p_o}$$

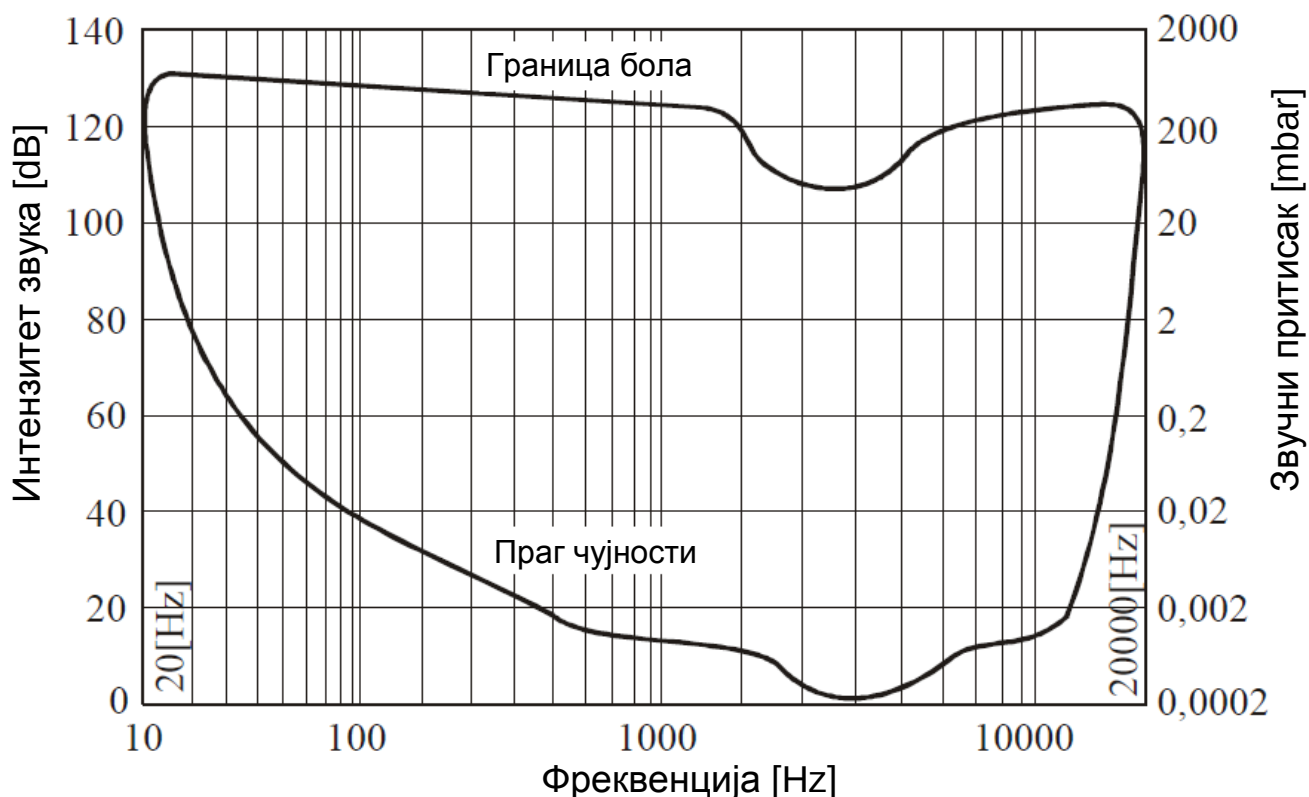
Где је:

I	[dB]	-интензитет звука
P_s	[W/m ²]	-густина снаге звучног таласа
P_o		-референтна густина снаге звучног таласа за $f=1\ 000\ \text{Hz}$,
p	[N/m ²]	-притисак звучног таласа
p_o		-референтни притисак звучног таласа за $f=1\ 000\ \text{Hz}$

Одређивање јачине звука (звучног поља) у радном окружењу врши се узимањем у обзир деловања свих парцијалних извора:

$$I = 10 \lg \frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{np_o^2}$$

Густина снаге звучног таласа у области прага чујности је $10^{-12}\ \text{W/m}^2$, а на граници бола је око $10\ \text{W/m}^2$.



Слика 2. Крива прага бола и прага чујности[9]

Праг чујности представља најнижи звучни притисак (интензитет звука) који људско ухо може да региструје. Праг чујности зависи од фреквенције и представља се кривом прага чујности. Праг чујности на 1000 Hz има вредности:

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} = 20 \mu\text{Pa}$$

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

Праг чујности на 20 Hz за људско ухо износи око 75 dB, а особа са оштећеним слухом ове фреквенције готово уопште не може да прими аудитивним путем. Ако би нпр. губитак слуха износио 50 dB, таквој би особи фреквенцију од 20 Hz морали појачати на 125 dB, а то би изазвало осећај бола. У подручју инфразвука, на фреквенцији од 10 Hz, праг чујности је око 100 dB за здраво ухо.

Праг бола представља највиши звучни притисак (интензитет звука) који људско уво може да региструје, а да не дође до оштећења органа слуха и непријатног осећаја бола. Праг бола зависи од фреквенције и представља се кривом прага бола. Праг бола на 1000 Hz има вредност за звучни притисак који је за 10^6 пута (за интензитет звука 10^{12}) већи од прага чујности.

У области инжењерских дисциплина доминирају три аспекта интересовања за звук као физичку појаву:

- Звук као средство комуникације
- Звук као алат
- Звук као бука

Звук у облику говора представља основно средство међуљудске комуникације. Говор настаје као резултат контролисаног генерисања звука из човековог вокалног тракта. Други облик комуникације звуком је музика као облик уметничког изражавања човека. Звук се такође користи у области комуникација као носач информација у облику нпр. знакова упозорења као што су звоно телефона, звук аутомобилске сирене или сирене за узбуну. У воденој средини звук као носилац информација је незаменљив, с обзиром на чињеницу да се кроз водену средину не простиру електромагнетни таласи.

Звук се у многим ситуацијама користи као активан или пасиван алат. Звук као активан алат подразумева коришћење енергије звука за извршавање неке специфичне операције. Примењује се код ултразвучних када за чишћење, у уређајима за ултразвучно заваривање, при осматрању дна испод брода генерисањем звука и праћењем простирања директне и рефлектоване компоненте, у ултразвучним дијагностичким методама у медицини.

Веома често звук својим деловањем може узнемиравати и угрожавати човека и његово здравље. У таквим случајевима звук се третира као бука. Технолошки развој друштва резултира у повећању нивоа енергије звука коју генеришу машине, фабрике, саобраћај и сл. Тако да су многи догађаји у човековом окружењу праћени генерисањем звукова који су нежељени и непријатни за окружење и као такви представљају буку.

Ниво сметњи које изазива звук зависи од карактеристика самог звучног сигнала, али и од става примаоца звука према њему. Тако, музика и говор који су корисни звуци за оне који их желе слушати могу за неке друге изгледати као бука, посебно ако су гласни и ако се јављају у време спавања или вођења комуникације, како директне тако и индиректне, коришћењем различитих помоћних средстава. Ово даје субјетивну димензију доживљаја звука у облику буке, тако да звук не мора да буде гласан да би представљао сметњу и да би га човек оценио као буку. Нпр. шкрипа пода, изгребане плоче или испрекидани звук капања воде из славине може бити ометајући као и гласна грмљавина. Оцена степена сметњи које изазива буку у великој мери зависи и од периода дана – већи нивои буке су толерантнији у току дневног него ноћног периода с обзиром на активности које се одвијају у тим периодима дана. Поред негативних ефеката ометања и угрожавања, бука може да има и разорно дејство које се огледа у уништавању материјалних добара и повређивању осетљивог органа слуха. Нпр. бука која настаје при настајању звучног удара може сломити прозоре и обити малтер са зидова. Али, сигурно је најтежи случај када бука оштети механизам који је намењен перцепцији звука – људско ухо.

3. Бука

Бука је, према најчешће коришћеној дефиницији, сваки нежељен и непријатан звук. Бука, поред тога што има исте физичке карактеристике као и звук, разликује се од звука по томе што изазива и различите психофизиолошке сензације (смета, узнемирава, угрожава) и штетна дејства на здравље човека.

Како су звук и бука заправо исте ствари које смо раздвојили искључиво на темељу субјективног доживљаја, све дефиниције које важе за звук важе и за буку, осим што бука у ужем смислу значи звук јаког интензитета. Ипак, звук не мора бити јаког интензитета да се сврста у буку. Бука је сваки звук који је непожељан и који нас омета у постизању неког задатог циља.

Различите особе имају различити став према жељеном и нежељеном звуку, тако да неки звук може бити бука за неку особу, а веома пријатан догађај за друге. Према томе, бука је само субјективна категорија, док је звук физичка категорија. Основна претпоставка да се звук третира као бука је да постоји субјект (човек или животиња) који опажа звук и коме тај звук смета. Нпр. саобраћај у суштини не генерише буку (нежељени звук), ако у непосредној околини саобраћајнице не постоје стамбени објекти или станишта животиња. Тако да се веома често поставља дилема када треба користити термин звук, а када бука. У свакодневном говору и литератури која обрађује проблеме звука и буке, уобичајена је пракса да се користи термин бука за звук који се у општем случају третира као нежељени. Нпр. звук који генеришу пнеуматици у контакту са подлогом могу за појединце да буду пријатан звук (љубитељи ауто-мото трка) али је за већину то ипак нежељени звук односно бука.

Бука је значајан загађивач јер изазива губитак слуха, стрес, растројство, губитак сна, подиже крвни притисак, смањује продуктивност итд. Непожељну буку производе саобраћај и индустријски погони. Највећа бука долази од машина, посебно аутомобила, камиона, авиона и хеликоптера. Грађевинске машине и машине у фабрикама производе веома опасну буку. Неки поступци деловања алата, покретних елемената, расхладних система, ваздушних компресора; оружје, музика, играчке изузетно су опасни због великог интензитета буке коју производе. Бродови, супер танкери, ватрогасна кола, нафтна постројења, као и тихи сонарни уређаји ниске фреквенције за подводну претрагу, штетни су у пољу таласног фронта.

3.1. Врсте и типови буке

Оптимална акустична средина у којој човек најбоље функционише представља нормалан разговор који се креће од 40-50 dB. Иако је најчешћа заблуда већине људи да је тишина најбоља за функционисање организма, она ипак није корисна, а ипак све што је гласније од нормалног разговора за организам представља оптерећење. Зато је извршена стандардизација 1973. године по препоруци IEC (*International electrotechnical commission*), по којој су одређене четири тежинске криве које су предвиђене за мерење буке у dB и то „A“, „B“, „C“ и „D“. Свака од ових кривих је на одређени начин дала значај одређеним фреквенцијама буке и њихов утицај на човека, односно на његово чуло слуха.

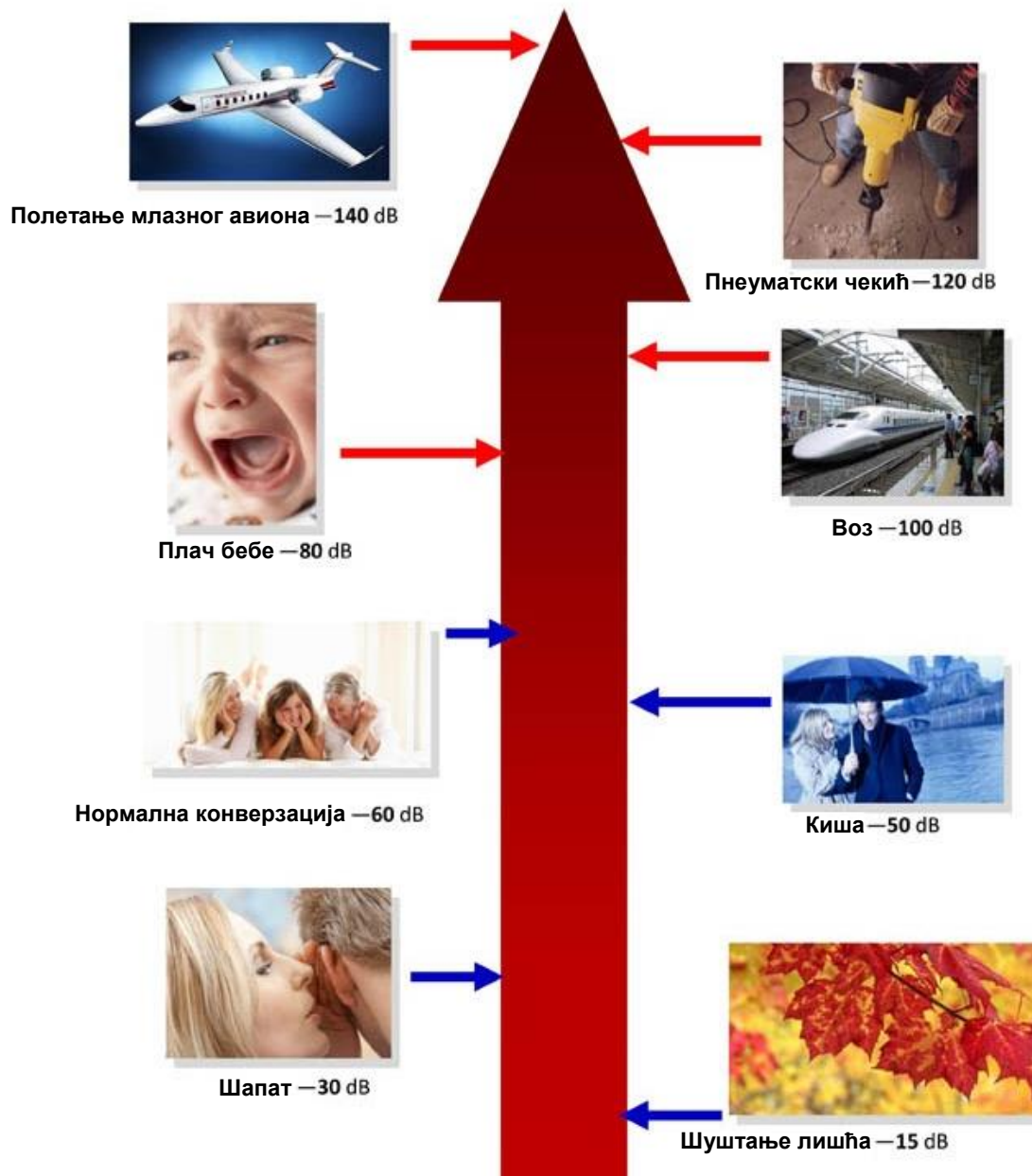
Први степен интензитета чини бука од 30-60 dB, која одговара већини људи за нормално функционисање организма осим код изузетно осетљивих особа код којих може да изазове мању количину узнемирености.

Други степен чини бука јачине од 65-90 dB код које се при дужој изложености јављају сметње нервног система односно одражавају се највише на слух.

Трећи степен се креће 90-110 dB код које се јављају и вибрације и која код већине људи за кратко време изазива прогресиван губитак слуха.

Четврти степен чини бука од 110-130 dB код које долази до трајног оштећења и губитка слуха.

Све изнад овог степена интензитета буке изазива тренутна оштећења слуха. Спровођењем различитих истраживања дошло се до закључка да бука није штетна само по људе већ и по биљке и животиње. Ако се нпр. саксија са одређеном врстом цвећа нађе и просторији у којој је музика превише гласна, оно ће после неког дужег временског периода почети да вене. Уједно и различите врсте животиња реагују на повећани ниво буке, па може доћи до смањења носивости као и агресивног понашања па неке врсте убијају своје тек рођене младунце. Допуштена количина буке у току дана износи 65 dB, док је дозвољена количина буке ноћу мања и износи 50 dB. Када бука достигне 140 dB људско ухо је не чује као звук већ је доживљава као бол.



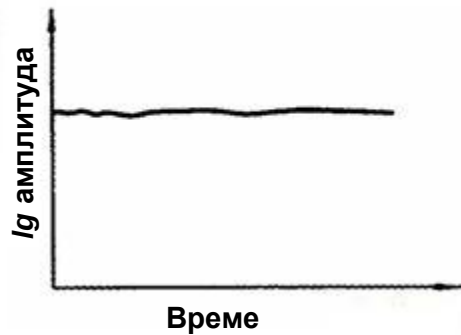
Слика 3. Примери интензитета буке за различите изворе звука[10]

Расподела звучне енергије у оквиру периода посматрања одређује мерну величину и интервал мерења. Бука се према томе разликује у више врста и то:

- а) Разликовање према временском току
- б) Разликовање према фреквенцијском спектру
- с) Разликовање према учешћу извора буке

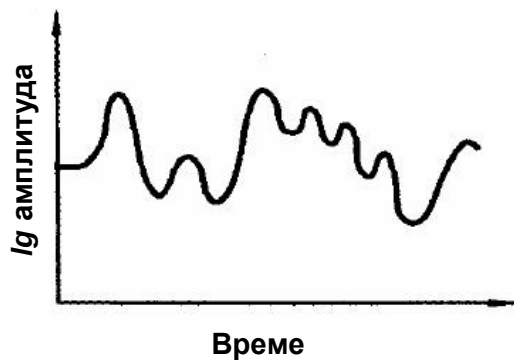
а) Према временском току бука се дели на:

- **Уједначена (непроменљива) бука** – Бука са релативно константном променом нивоа (до 5 dB) у оквиру периода посматрања. Један од најбољих примера за непроменљиву уједначену буку је косилица за кошење траве. На слици 4. приказан је сигнал непроменљиве буке у временском домену:



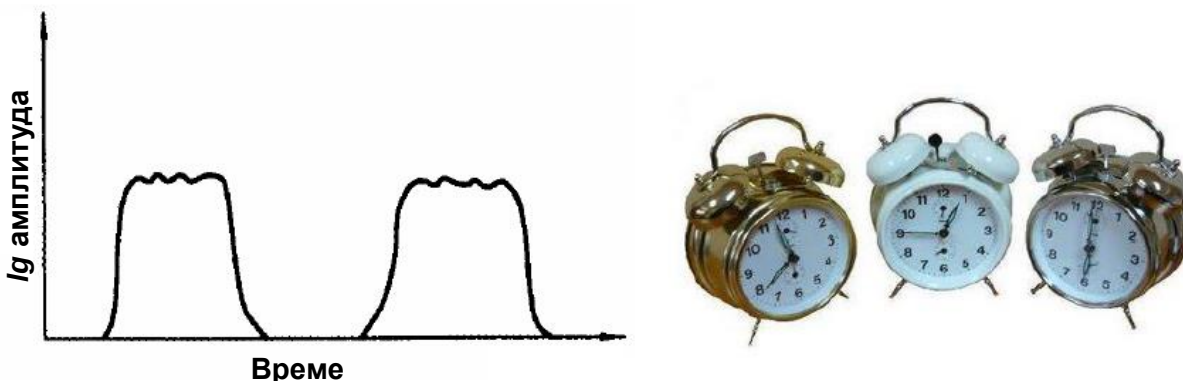
Слика 4. Сигнал уједначене буке на примеру косилице за траву[11]

- **Променљива бука** – Бука са променљивим нивоом (више од 5 dB) у току периода посматрања. Дефинишу се следећи типови променљиве буке
 - **континуално променљива бука** (сл. 5) – Бука чији се ниво непрекидно мења у значајној мери у току периода посматрања



Слика 5. Приказ сигнала променљивог нивоа буке (нпр. ниво буке код саобраћајнице)[11]

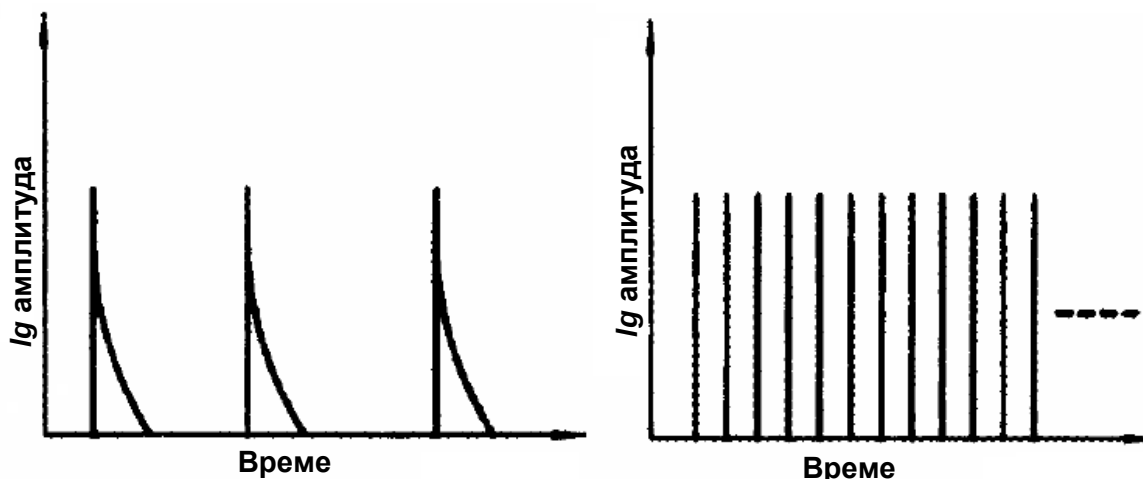
- **испрекидана бука** (сл. 6) – бука извора који ради у правилним или неправилним циклусима где ниво буке веома брзо расте и опада неколико пута у току периода посматрања; трајање уједначене вредности буке у сваком циклусу, која се разликује од резидуалне буке, износи више од 5s;



Слика 6. Приказ сигнала испрекидане буке (пример старог сата будилника)[11]

- **импулсна бука** – бука удара или експлозија, односно бука која се састоји од низа импулса звучне енергије, при чему сваки импулс траје мање од 1s.
 - **изоловани импулс звучне енергије** – један импулс звучне енергије или серија импулса, са интервалима између појединачних импулса дужим од 0.2s
 - **квазиимпулсна бука** – серија импулса буке сличне амплитуде, са интервалима између импулса краћим од 0.2s.

На слици 7. приказан је сигнал изоловане импулсне и квазиимпулсне буке у временском домену.



Слика 7. Приказ сигнала изоловане импулсне и квазиимпулсне буке[11]

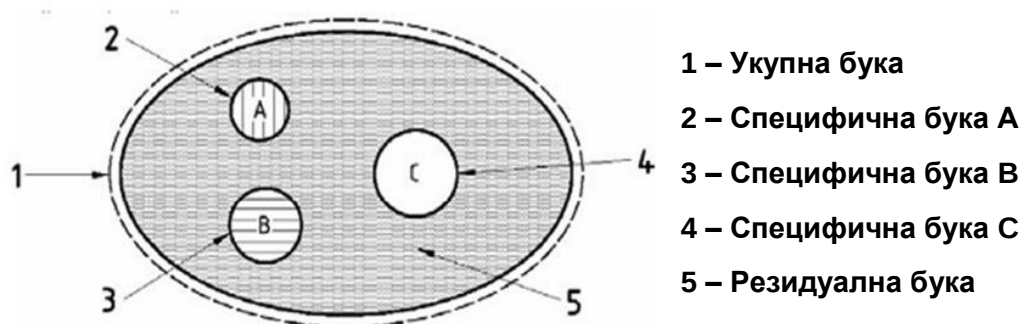
b) Разликовање буке према фреквенцијском спектру

Расподела звучне енергије у зависности од фреквенције (фреквенцијски спектар) одређује се фреквенцијском анализом нивоа буке, применом октавних или терцних филтера. Фреквенцијска анализа омогућава одређивање карактера буке и евентуалне корекције, као и утврђивање оних фреквенцијских подручја о којима треба водити рачуна при примени мера за смањење буке.

- **Широкопојасне бука** – бука са приближно равномерном расподелом енергије звука у ширем фреквенцијском опсегу (више суседних октава). Спектар је углавном без неравнина и континуалан. Пример широкопојасне буке без истакнутих тонова је саобраћајна бука.
- **Ускопојасна бука** – бука чија је звучна енергија садржана у ужем фреквенцијском опсегу (једна октава или мањи број терци). Примери ускопојасне буке без истакнутих тонова су: бука удаљене грмљавине (ниска фреквенција), бука испуштања ваздуха из аутомобилске гуме (висока фреквенција)
- **Тонална бука (бука која садржи истакнути тон)** – бука која садржи већи део енергија звука на дискретним фреквенцијама или веома уском опсегу фреквенција и која се чујно издваја из укупне буке. Примери тоналне буке су: бука вентилатора, компресора, сирена аутомобила или воза.
- **Бука са нискофреквенцијским садржајем** – бука која има значајну акустичку енергију у фреквенцијском опсегу од 8 до 100 Hz. Ова врста буке се тешко пригушује и може се простирати у свим правцима па се може чути и на растојањима од неколико километара. Примери буке са нискофреквенцијским садржајем су: бука великих дизел машина код возова, бродова и електрана, бука хеликоптера, бука подземне железнице, бука пнеуматске грађевинске опреме, бука која настаје услед вибрирања моста и сл.

с) Разликовање буке према учешћу извора буке

- **Укупна бука** – бука која обухвата све утицаје различитих блиских и далеких извора на датој локацији у посматраном времену
- **Специфична бука** – компонента укупног звука која се може посебно идентификовати и која је повезана са одређеним извором или групом извора
- **Почетна (првобитна) бука** – бука на некој локацији која је постојала пре неке промене, нпр. изградња нове фабрике, саобраћајнице, баријере и сл.



Слика 8. Типови буке према учешћу извора буке[11]

Класификација буке се може извршити и према:

- пореклу
- извору
- месту настанка

Подела буке према пореклу подразумева:

1. Буку природних извора – грмљавина, шумови олује, ветар, шум воде, водопада, морских таласа, бука при земљотресима, бука при ерупцијама вулкана... Иако је овако створена бука врло често веома јака, она није толико опасна као бука

вештачких извора, јер је повремена, најчешће краткотрајна и ограничена на мали простор.

2. Буку вештачких извора – потиче од разних машина и оруђа, а израженија је у урбаној средини и индустријској зони.

Подела буке према извору зависи од радне средине, па се често своди на поделу према месту настанка. Подела буке према месту настанка:

1. Буке у радној средини
2. Буке у животној средини (комунална бука)

Бука у радној средини се јавља у технолошким процесима који користе разне машине и разна оруђа, као и у пољопривреди (комбајн, тракор и сл.), шумарству (тестере и циркулари), грађевинарству (бетонске мешалице, бушилице), бродоградњи, хемијској индустрији...

Класификација буке према изворима у радној средини обухвата два типа буке:

1. Бука коју прави оруђе за рад, машина или уређај на коме радник не ради, али је у његовој близини
2. Бука коју стварају разни уређаји ван процеса производње (уређаји за вентилацију и климатизацију, улични саобраћај и сл.)

Бука у комуналној средини своди се на:

- саобраћајну буку
- буку коју ствара индустрија у насељима
- уличну буку разног порекла
- буку у домаћинствима од разних апарата и активности

3.2. Физичке особине буке

Акустичка бука је звук (нежељени додусе), а звук је, у физичком смислу, механичко осциловање у гасу, течности или чврстом телу. Такво осциловање се карактерише фреквенцијом (у случају буке – фреквенцијама), амплитудом и фазом.

3.2.1. Амплитуда звучног таласа

Амплитуда звучног таласа одређује јачину звука, иако те две величине нису директно повезане. Типично, амплитуде притиска су врло мале. За просечног човека, опсег чујности се налази од границе чујности, на $20 \mu\text{Pa}$, па све до 200 Pa на граници бола, дакле у распону $1:10^6$. Интензитет звука је пропорционалан квадрату притиска, тако да је опсег интензитета у распону $1:10^{12}$. Са таквим опсегом, подесније је изразити амплитуду притиском, па се ниво звучног притиска, L_p (енгл. *Sound Pressure Level* – SPL), може дефинисати као:

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^2 = 20 \log_{10} \frac{p_1}{p_0}$$

где су: L_p – ниво звучног притиска изражен у dB, p_1 – амплитуда звучног притиска и p_0 – референтни притисак од $20 \mu\text{Pa}$.

Пошто је dB заснован на логаритамској скали, два нивоа буке не могу се аритметички сабрати. Тако, резултанта L_{pr} , сабирања више извора звука, $L_{p1}, L_{p2}, \dots$, добија се коришћењем израза:

$$L_{pr} = 10 \log_{10} \left[\left(\frac{p_1}{p_0} \right)^2 + \left(\frac{p_2}{p_0} \right)^2 + \dots \right]$$

За два идентична звучна извора, $L_{p1} = L_{p2} = L_p$, важи:

$$L_{pr} = 10 \log_{10} \left[2 \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^2 \right] = 10 \log_{10} \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^2 + 10 \log_{10} 2 = L_p + 3.1 dB$$

Тако, за све практичне примене, дуплирање интензитета звука повећава ниво звучног притиска за $3 dB$, на пример:

$$90db + 90dB = 93dB$$

Очигледно, тамо где треба додати ефекат малог извора великом извору буке, резултујући ниво буке се практично не мења, што треба узети у обзир при предузимању мера за смањење буке. Наиме, третман занемарљивог извора буке можда неће дати резултат у смањењу укупног нивоа буке.

3.2.2. Фреквенција звучног таласа

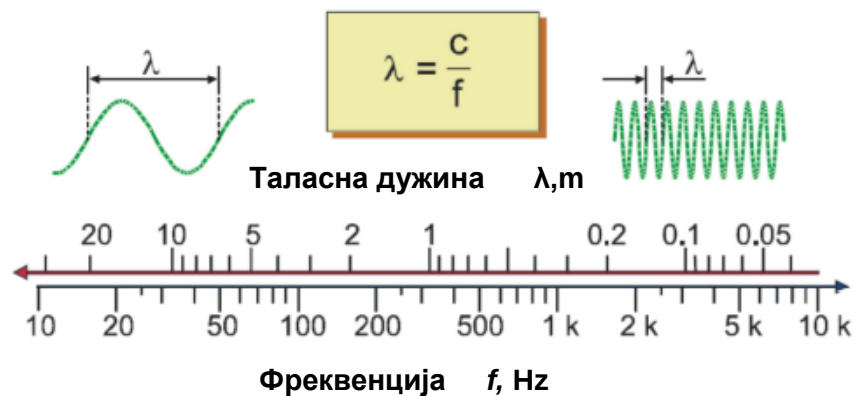
Брзина којом се дешавају промене притиска назива се фреквенција и мери се у Hz или $ciklus/s$. Људско ухо је способно да чује у опсегу фреквенција од $20Hz$ до $16000Hz$ ($16kHz$), иако овај опсег може бити значајно смањен у области високих фреквенција код старијих људи и код људи који пате од оштећења слуха.

Звук који има само једну фреквенцију познат је као чист тон. У пракси, чисти тонови се ретко срећу, а већина звукова је састављена од компонената различитих фреквенција. Индустијска бука садржи мешавину фреквенција, познату као бука ширег опсега. Уколико бука има амплитуде звучних таласа равномерно распоређене дуж фреквентног опсега чујности, она се означава као бели шум и звучи као текућа вода брзог протока.

Знајући брзину звука, $c=344 m/s$, и фреквенцију звука, f , можемо одредити таласну дужину звучног таласа, λ , тј. растојање од једне вршне вредности притиска до следеће вршне вредности, слика 9, а на основу следеће зависности:

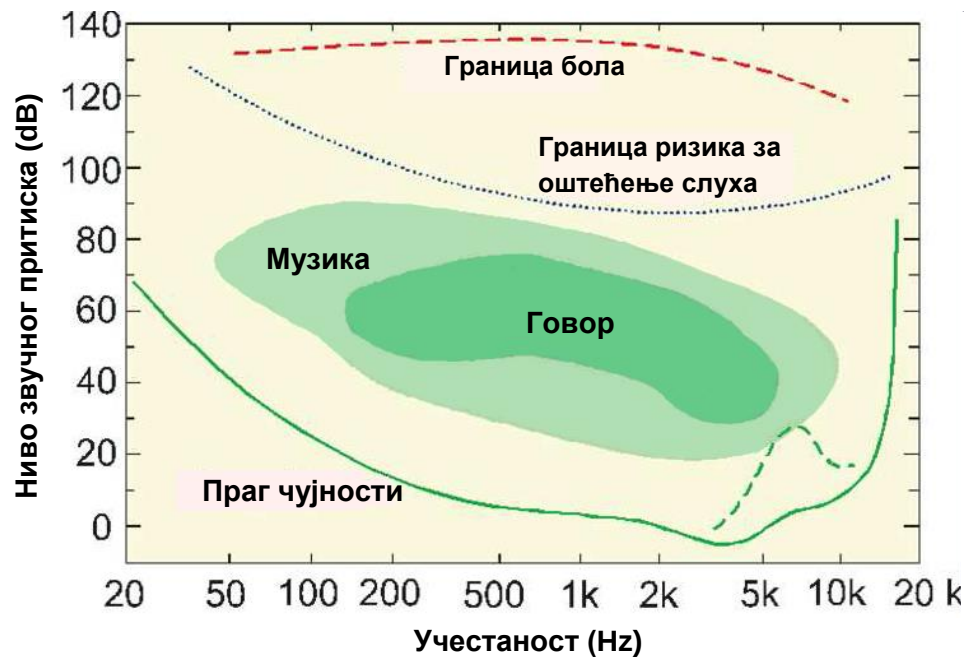
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

На пример, на фреквенцији од $20 Hz$ таласна дужина је приближно једнака $17m$, док на фреквенцији од $20 kHz$, она износи само $1.7 cm$. Види се да високофреквентни звуци имају кратке таласне дужине, а нискофреквентни звуци имају дуге таласне дужине.



Слика 9. Таласна дужина звука[11]

Слика 10 приказује границе људског слушног система са аспекта чујности. Доња пуна линија означава, као доњу границу, праг чујности код тихог чистог тона, који се једва чује. Горња испрекидана линија представља границу бола. Међутим, ако се дуже време превазилази граница ризика оштећења слуха, може се јавити трајно оштећење слуха. То може да доведе до повећања прага чујности, као што је илустровано испрекиданом линијом у доњем десном углу слике. Нормалан говор и музика имају нивое у осенченим областима, док виши нивои траже електронско појачање.



Слика 10. Поље чујности[11]

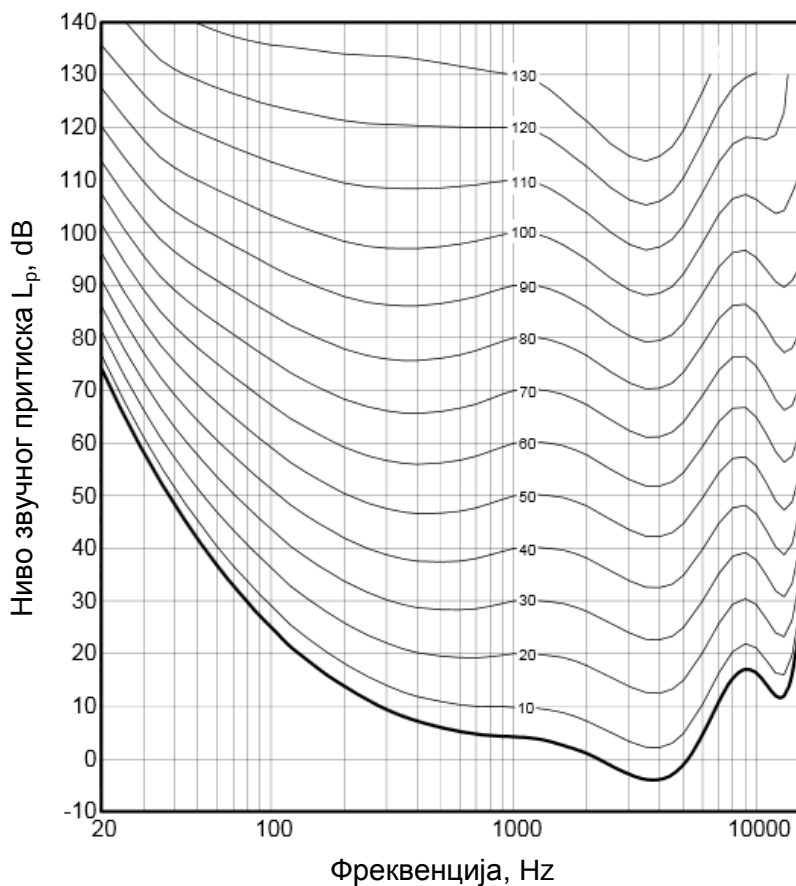
3.3. Често коришћени термини у акустици

3.3.1. Јачина звука

Субјективна или опажајна јачина звука одређује се преко неколико комплексних фактора. Један такав фактор је чињеница да људско уво није подједнако осетљиво на свим фреквенцијама. Најосетљивије је на звуке фреквенција између 2kHz и 5kHz , а мање осетљиво на осталим фреквенцијама. Да би се остварила иста чујност при ниским фреквенцијама као и при високим фреквенцијама, потребна је већа физичка амплитуда L_p , пошто је уво мање осетљиво на ниским фреквенцијама.

Величина којом се изражава субјективни доживљај јачине звука назива се ниво субјективне јачине звука или ниво гласности (eng. *Loudness level*). Чешће се користи скраћени назив јачина звука. За њено изражавање уведена је јединица која се назива фон (*Fon*).

Криве једнаких јачина звука – изофонске криве чујности, слика 11, дефинисане су у dB Fon и добијене експерименталним коришћењем чистих тонова који стварају исти осећај јачине звука на различитим фреквенцијама. Може се видети да се разлика између физичких амплитуда на различитим фреквенцијама, потребна да се добије крива исте чујности смањује са повећањем јачине звука.



Слика 11. Изофонске криве чујности (бројеви на линијама означавају фон)[1]

Као апроксимација, повећање нивоа звучног притиска од 8 до 10 *dB* одговара субјективном осећају дуплирања јачине звука. Постоји више различитих начина прорачуна јачине звука, тако да ниво јачине звука у фонима треба да се веже за методу која је коришћена.

3.3.2. Октавни опсези

Опште прихваћени опсези који се користе у области контроле буке су октавни, тј. опсези фреквенција са горњом граничном фреквенцијом, f_g , једнаком двострукој вредности доње граничне фреквенције, f_d . Сваки октавни опсег дефинисан је централном фреквенцијом, f_c , где је:

$$f_c = (f_g \cdot f_d)^{\frac{1}{2}} = (2f_d \cdot f_d)^{\frac{1}{2}} = 1.414f_d$$

Уобичајено коришћени октавни опсези су приказани у табели 1.

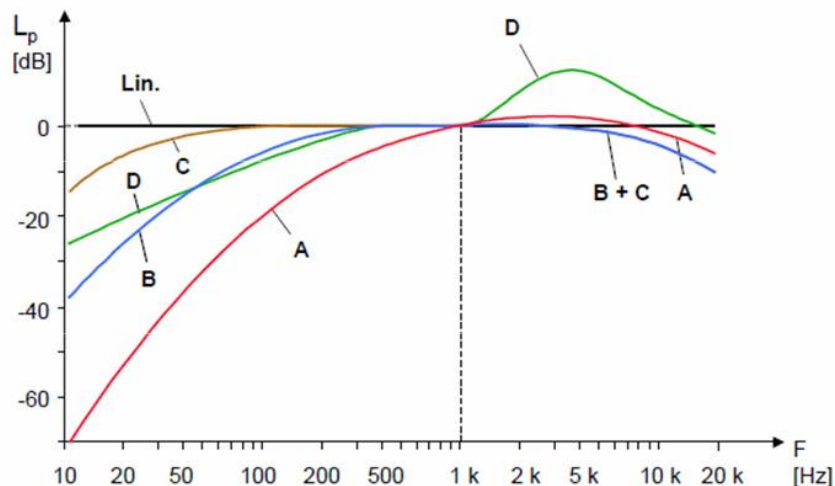
Табела 1. Октавни опсези

Централна фреквенција, Hz	Опсег, Hz
31.5	22-44
63	44-88
125	88-177
250	177-354
500	354-707
1000	707-1414
2000	1414-2828
4000	2828-5657
8000	5657-11814

3.3.3. Криве за процену буке

Различити стандарди препоручују различите методе за одређивање сметњи од буке. Најједноставнија метода је коришћење кривих за процену, као што су криве дате у међународном стандарду *ISO 1996*. Много већи значај је дат вишим него нижим фреквенцијама, то је зато што високофреквентни звуци људима више сметају од нискофреквентних звукова. У неким земљама, криве сличне кривама за процену буке, користе се за дефинисање максимално дозвољеног времена у коме радник може бити изложен буци, као и за постављање дозвољених граница за буку машина, итд.

Облици кривих за оцену буке који се најчешће користе, приказани су на слици 12. Крива нивоа звучног притиска која прати слушне карактеристике уха назива се *A*-крива за оцену. Ова крива даје најшире коришћену јединицу за квантификацију нивоа буке, *dBA*. Друге криве на мрежи за оцену су *B*, *C*, *D* и *Lin*. Криве *A*, *B* и *C* прате приближно криве еквивалентне јачине звука од 40, 70 и 100 *dB*, респективно. Осим криве *dBA*, у пракси се најчешће употребљавају криве *dBC* и *dBLin*, које су за већину употреба приближно једнаке, а углавном се користе за оцену буке на радном месту. Крива *D* прати специјалну криву која ставља нагласак на фреквентни опсег од 1 *kHz* до 10 *kHz* који се нормално користи за мерење буке летелица.



Слика 12. Криве за оцену буке[12]

3.3.4. Ниво звучне снаге

Ниво звучног притиска, L_p , мора се увек дефинисати у специфичној тачки у односу на извор буке, јер зависи од релативног положаја у односу на извор звука и окружење око извора и пријемника. За разлику од нивоа звучног притиска, ниво звучне снаге, L_s , је мера укупне емитоване акустичне енергије и не зависи од окружења око извора буке. Ниво звучне снаге се користи за прорачун нивоа одјека, притисака и буке у насељима. Дефинише се као:

$$L_s(dB) = 10 \log_{10} \frac{P}{120}$$

где је P – емитована звучна снага у W.

У многим случајевима, ниво звучне снаге израчунава се из нивоа звучног притиска помоћу формуле за апроксимацију:

$$L_s = L_p + 10 \log_{10} A[m^2]$$

где је A – површина мерења.

Концепт нивоа звучне снаге најбоље се илуструје следећом аналогијом. Нека је температура измерена на удаљености $1m$ од електричне пећи снаге $1kW$ иста као температура измерена на растојању $1m$ од великог парног котла. Иако су температуре исте, котло ће зрачити више топлоте, јер зрачи топлоту преко веће површине. Слично, ниво звучног притиска на растојању од $1m$ удаљености од великог индустријског расхладног торња може бити исти као на $1m$ удаљености од мале пумпе, али израчена акустична снага од стране расхладног уређаја биће много већа.

3.4. Величине за изражавање нивоа изложености буци

3.4.1. Еквивалентни ниво буке, L_{eq}

Еквивалентни ниво буке, L_{eq} , је константан ниво енергије буке, осредњен у времену. Одговара константном нивоу звучног притиска који би имао исту укупну акустичну енергију као реална снимљена бука у посматраном временском интервалу, T :

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt$$

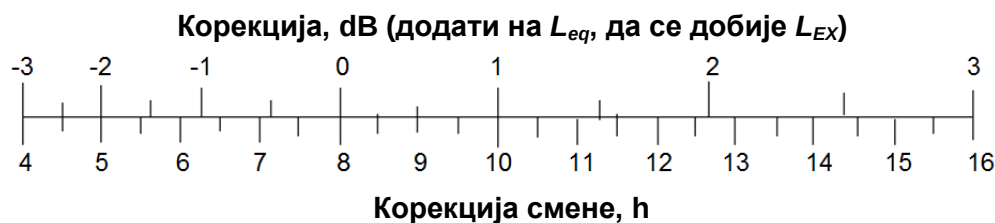
Време узорковања може бити неколико минута, ако је сигнал буке константан или се понавља у кратком циклусу, док неки послови могу да захтевају целодневно праћење нивоа буке. Ако активност није типична за смену, онда је потребно или више узорака или се на измерене вредности морају применити корекције.

3.4.2. Ниво изложености буци, L_{EX}

Ниво изложености буци, L_{EX} , је ниво звука, осредњен по енергији у трајању од 8h, који би дао исту дозу дневне изложености, као и променљива бука у целокупној смени. Блиско је повезан са вредношћу L_{eq} , која се стварно мери. У ствари, L_{EX} може да се схвати као измерена вредност L_{eq} са малом корекцијом. Тако је:

$$L_{EX} = L_{eq} + \text{корективни фактор за дужину смене}$$

при чему се корективни фактор преузима са слике 13.



Слика 13. Корекција L_{eq} за дужину смене[12]

Треба приметити да је корекција L_{eq} када смена траје 8h једнака нули.

3.4.3. Доза буке, D

Доза буке може се представити преко вредности релативне у односу на 1 или у односу на 100% од „прихватљиве“ количине буке.

Доза буке у % се рачуна као:

$$D = 100 \frac{C}{T}$$

где су: C – укупно време трајања радног дана у часовима и T – референтно време трајања у часовима, измереног и А-пондерисаног нивоа звука, L_{eq} у dB . Време, T , се рачуна на следећи начин:

$$T = \frac{8}{2^{\frac{L_p - 90}{5}}}$$

Када се изложеност буци у радној смени састоји од два или више периода буке без различитог нивоа, укупна доза буке у току радног дана је дата са:

$$D = 100 \left(\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \right)$$

3.4.4. Формуле за одређивање просечних вредности нивоа буке

Понекад је корисно комбиновати константне нивое звука, без обзира на њихову дужину трајања. На пример, код групног узорковања, мора да се одреди просечна вредност више нивоа звука – у овом случају потребна је аритметичка средина. У другим случајевима, можда ће бити потребна средња квадратна вредност (на пример, код више вредности L_{EX} за истог радника).

Аритметичка средња вредност или просечна вредност n нивоа звука је:

$$L_{sr} = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{n}$$

где је L_n – n -ти ниво звука. Ова формула се може користити за добијање просечне вредности L_{EX} за више радника.

Просечна енергетска вредност („ефективна“ или rms) нивоа звука је:

$$L_{rms} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{n} \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right) \right\}$$

Ову формулу треба користити за осредњавање по енергији више нивоа звука, на пример, вредности L_{EX} за истог радника различитим данима. Интеграциони фонометри раде исто прерачунавање при добијању вредности за L_{eq} за групу нивоа звука узоркованих у истим временским интервалима.

Пример. Просечне вредности три измерена нивоа звука од 88, 93 и 97 dBA су:

$$L_{sr} = \frac{88 + 93 + 97}{3} = 93 \text{ dBA}$$

$$L_{rms} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{3} \left(10^{\frac{88}{10}} + 10^{\frac{93}{10}} + 10^{\frac{97}{10}} \right) \right\} = 94.3 \text{ dBA}$$

4. Стандарди

Иако је постојало сазнање да продужено излагање буци изазива оштећење слуха, до 1950-их година није било предлога стандарда у вези ограничења изложености буци. Први стандард у САД је усвојен од стране америчког ваздухопловства, 1956 године. Истраживања и комитети за доношење стандарда разматрали су проблематику буке више од деценије, пре него што су границе излагања буци ушле у законске регулативе.

4.1. ISO стандарди

Технички комитет 43, подкомитет 1, Међународне организације за стандардизацију, *ISO TC43/SCI*, бави се доношењем стандарда везаних за буку. Актуелни стандарди везани за буку на радном месту су:

- *ISO 1999:1990* – Акустика – Одређивање изложености буци на радном месту и оцена оштећења слуха насталих услед дејства буке;
- *ISO 9612:1997* – Акустика – Препоруке за мерење и процену изложености буци у радном окружењу;
- *ISO 11690-1:1996* – Акустика – Препоручена пракса за конструисање радних места која садрже машине са ниским нивоом буке – Део 1: Стратегије контроле буке;
- *ISO 11690-2:1996* – Акустика – Препоручена пракса за конструисање радних места која садрже машине са ниским нивоом буке – Део 2: Мере за контролу буке;
- *ISO 11690-3:1997* – Акустика – Препоручена пракса за конструисање радних места која садрже машине са ниским нивоом буке – Део 3: Простирање звука и предвиђање нивоа буке у радним просторијама
- *ISO 14257:2001* – Акустика – Мерење и параметарски опис кривих просторног простирања звука у радним просторијама ради оцено њихових акустичних перформанси;
- *ISO/TS 15666:2003* – Акустика – Процена сметњи од буке помоћу друштвених и друштвено-акустичких истраживања и
- *ISO 17624:2004* – Акустика – Препоруке за контролу буке у канцеларијама и радним просторијама помоћу акустичких паравана.

4.2. Европска Директива 2003/10/EC

Директива Европског парламента и Савета Европе, *2003/10/EC*, односи се на минимум здравствених и безбедносних захтева у вези излагања радника ризицима од физичких штетности (буке). Према овој Директиви, физички параметри који се користе за предвиђање ризика од буке се дефинишу на следећи начин:

- вршни звучни притисак, p_{peak} : максимална вредност тренутног притиска буке изражена С-фреквентном кривом за оцену буке;
- дневни ниво изложености буци, $L_{EX,8h} dB(A)$: временски оцењена средња вредност нивоа изложености буци за номинални осмочасовни радни дан, као што је

дефинисано у међународном стандарду *ISO 1999:1990* (покрива све врсте буке на радном месту, укључујући и импулсну буку) и

- недељни ниво изложености буци, $L_{EX,8h}$: временски оцењена средња вредност нивоа изложености дневној буци за номиналну недељу од пет осмочасовних радних дана, као што је дефинисано у међународном стандарду *ISO 1999:1990*.

Директива *2003/10/EC* захтева да се вредности границе излагања и акционе вредности излагања у односу на нивое изложености дневној буци и вредност вршног звучног притиска, фиксирају на следећим вредностима:

- вредности границе излагања: $L_{EX,8h} = 87dB(A)$ и $p_{peak} = 200Pa$, респективно;
- горње акционе вредности излагања: $L_{EX,8h} = 85dB(A)$ и $p_{peak} = 140Pa$, респективно и
- доње акционе вредности излагања: $L_{EX,8h} = 80dB(A)$ и $p_{peak} = 112Pa$, респективно

Прелазна бука такође захтева статистичку анализу, а често се захтевају мерења:

- L_{10} – нивоа буке прекораченог 10% времена (просечна вршна вредност),
- L_{50} – нивоа буке прекораченог 50% времена (средњи ниво) и
- L_{90} – нивоа буке прекораченог 90% времена (просечни ниво буке у позадини)

4.3. OSHA стандарди за буку на радном месту

Табела 2. даје дозвољене изложености буци према стандардима Министарства здравља и безбедности на раду САД – *OSHA*, које узимају у обзир нивое буке који изазивају оштећење слуха приликом излагања у току осмочасовног радног дана. Када изложеност варира током радног дана, прорачуната временски оцењена средња бука (енгл. *Time-Weighted Average Noise – TWAN*), помаже да се утврди да ли су превазиђене границе изложености:

$$TWAN = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

где су: C_x – укупно време изложености специфичном нивоу буке. Ако је вредност *TWAN* већа од 1.0, изложеност премашује границе предвиђене стандардом *OSHA*, табела 2.

Табела 2. Дозвољена изоженост буци према *OSHA*

Трајање излагања, h	Ниво звука, dB (спори одзив)
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1.5	102
1	105
0.5	110
0.25 или мање	115
Импулсна или ударна бука	140 (вршни ниво)

4.4. Национални прописи за буку на радном месту

Основни национални пропис који се односи на све аспекте безбедности и здравља на раду је Закон о безбедности и здрављу на раду. Сви остали прописи, па и прописи везани за буку на радном месту морају се усагласити у односу на овај законски акт. За сада је на снази „Правилник о мерама и нормативима заштите на раду од буке у радним просторијама“ из 1992. године, према коме се штетно деловање буке оцењује на основу пуног радног времена и у складу са нормативима допуштених нивоа буке прописаним у табелама 3 до 8.

Табела 3. Допуштени нивои буке са обзиром на врсту делатности

Ред. број	Врста делатности	Допуштени нивои буке на радном месту у dB(A)		
		a	b	c
1.	Физички рад без захтева за менталним напрезањем и запажањем околине слухом	85	85	80
2.	Физички рад усмерен на тачност и концентрацију; повремено праћење и контрола околине слухом; управљање транспортним средствима	80	75	70
3.	Рад који се обавља под честим говорним командама и акустичким сигнаlima. Рад који захтева стално праћење околине слухом. Рад претежно менталног карактера, али рутински.	75	70	60
4.	Рад претежно менталног карактера који захтева концентрацију, али рутински	70	65	55
5.	Ментални рад усмерен на контролу рада групе људи која обавља претежно физички рад. Рад који захтева концентрацију или непосредно комуницирање говором или телефоном.	-	60	50
6.	Ментални рад усмерен на контролу рада групе људи која обавља претежно ментални рад. Рад који захтева концентрацију, непосредно комуницирање говором или телефоном. Рад искључиво везан за разговоре преко комуникационих средстава (телефон и др.)	-	55	45
7.	Ментални рад који захтева велику концентрацију, искључивање из околине, прецизну психомоторику или комуницирање са групом људи.	-	-	40
8.	Ментални рад, као израда концепција, рад везан за велику одговорност, комуницирање ради договора са групом људи	-	-	35
9.	Концертне и позоришне сале	-	-	30

*a - означава буку коју прави оруђе за рад или уређај којим радник рукује или га опслужује
b - означава буку коју прави оруђе за рад или уређај којим радник не рукује нити га опслужује
c - означава буку коју стварају непроизводни извори (уређаји за вентилацију или климатизацију, суседна организација, улични саобраћај и сл.)*

Табела 4. Допуштени нивои буке с обзиром на могућност непосредног споразумевања говором

dB(A)	Удаљеност у метрима	
	Нормалан говор	Гласни говор
45	7	14
50	4	8
55	2.2	4.5
60	1.3	2.5
65	0.7	1.4
70	0.4	0.8
75	0.22	0.45
80	0.12	0.25
85	0.07	0.14
90		0.08

Табела 5. Допуштено време излагања буци с обзиром на ниво трајања буке

Дневно излагање у часовима	Ниво буке у dB(A)
8	85
6	87
4	90
3	92
2	95
1.5	97
1	100
0.5	105
0.25	110
0.125	115*

**Не дозвољава се трајно или повремено излагање буци чији је ниво изнад 115 dB(A)*

Табела 6. Допуштени нивои буке с обзиром на могућност посредног споразумевања средствима комуникације

Критеријуми у dB(A)	Могућност споразумевања телефоном и др.
55	Задовољавајућа
65	Мало отежана
70	Тешка
Изнад 70	Незадовољавајућа

Табела 7. Допуштени нивои импулсивне или ударне буке

Ниво звука, dB	Дозвољени број импулса или удара у току дана
140	100
120	1000
<i>Вршни ниво звучног притиска у dB у односу на 20 µPa</i>	

Табела 8. Допуштено време излагања буци

	Ниво звучних притисака у dB(A)						
min/dan	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
480	98	91	87	83	81	80.5	82.5
240	110	100	93	87	85	83	90
120	120	109	101	94.5	90	88	96
60		120	110	102	95	94	102
30			119	109	102	99.5	109
15			128	117	108	105	115
7				121	112	109.5	120
3				126	117	114	125
Минимуми кривуга налазе се код 3500 Hz, а вредности су за 0.5 dB мање од оних у колони 4000 Hz							

5. Мерење буке

Мерење буке се врши у целокупној животној средини која обухвата и стамбени простор и радна места. У грађевинској индустрији, апарати за мерење буке се користе при акустичним испитивањима грађевинског материјала, објеката и хала. У индустрији се користе за мерење буке у производним погонима. Испитивање буке је једнако неопходно како у стамбеном простору, тако и на улици. Осим овога, инструменти служе и при акустичним испитивањима извора буке. На основу резултата добијених тестирањем могуће је испитати штетност и умањити негативне ефекте буке којима су изложени људи у стамбеном простору или на радном месту.

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. Мерења нам омогућавају прецизну, научну анализу ометајућих звукова. 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.

Методe 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
- инструменте 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.

Мерење буке у затвореном простору. Мерење нивоа буке у просторијама врши се тако да мерна тачка буде удаљена 1 m од зидова или других рефлектујућих површина, а микрофон се поставља на висину $1,2\text{ m}$ до $1,5\text{ m}$ изнад пода. Код мерења буке у просторијама са затвореним прозорима и вратима микрофон се поставља, по могућностима, у средину просторије. Мерење структурног звука (извор у згради) или код спољне нискофреквенцијске буке, врши се при затвореним прозорима, у средини просторије.

Мерење буке на отвореном простору. Мерење нивоа буке на отвореном простору врши се тако да се микрофон постави $1,2\text{ m}$ до 2 m изнад тла. Код посебних мерних услова на терену (нпр. заклањање зидом, нагиб терена, велико пригушење на тлу и сл.), микрофон се може поставити на висину 4 m изнад тла. Код мерења буке у близини зграде, микрофон се поставља на удаљеност најмање 3 m . Код мерења буке на фасади зграде микрофон се поставља $0,5\text{ m}$ изван зграде, приближно на средини отвореног прозора.

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 и уређаја, 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 инструменти и уведене мање или више сложене методе помоћу којих се може измерити практично сваки параметар који даје податке о буци.

Мерење буке се врши на два начина:

- објективно и
- субјективно

Где су објективна мерења поступци којима се одређују и прате физички параметри у средини у којој се јавља бука, а субјективна су усмерена на процену штетног дејства на појединце.

Конструишући апарате за мерење нивоа и интензитета буке, физичари су настојали да направе такве инструменте који би поседовали својства слична човечијем уху. У тражењу начина за мерење нивоа буке, коришћени су следећи поступци:

- метод упоређивања звука – упоређује буку са буком која је унапред позната и одређена (еталон), и чији се ниво прилагођава непостојећој буци, све док се обе не нађу на истом нивоу;
- метод маскирања звука – узима један одређени еталонирани звук који се повећава или смањује, и достиже онај ниво који ће учинити да бука која постоји споља постане нечујна. Тада се, обично, каже да је еталонирани звук маскирао постојећу буку.

Цело акустично поље може се у принципу описати само помоћу мерења притиска. То значи да се сви остали акустични параметри могу извести из измереног притиска. У пракси, притисак је често, једини параметар који се мери.

Људско уво не осећа сваку фреквенцију из чујног поља са истом осетљивошћу. Као резултат, стварни нивои звучног притиска се прилагођавају тако да представљају типичну осетљивост људског ува. Најчешћа скала за оцену је А – скала. Табела 9 даје подешавања у смислу фреквенције којима се физички нивои звучног притиска у dB претварају у вредност са скале А – dBA.

Табела 9. Корекција dB у dBA

Централна фреквенција октавног појаса, Hz	Корекција dB у dBA
31.5	-39
63	-26
125	-16
250	-9
500	-3
1000	0
2000	+1
4000	+1
8000	-1
16000	-6.6

5.1. Уређаји за мерење буке

Давачи за мерење буке – микрофони. Микрофон је електроакустични претварач који је прилагођен раду у ваздуху. Он претвара звучни притисак, који је улазна величина, у електрични сигнал на свом излазу.

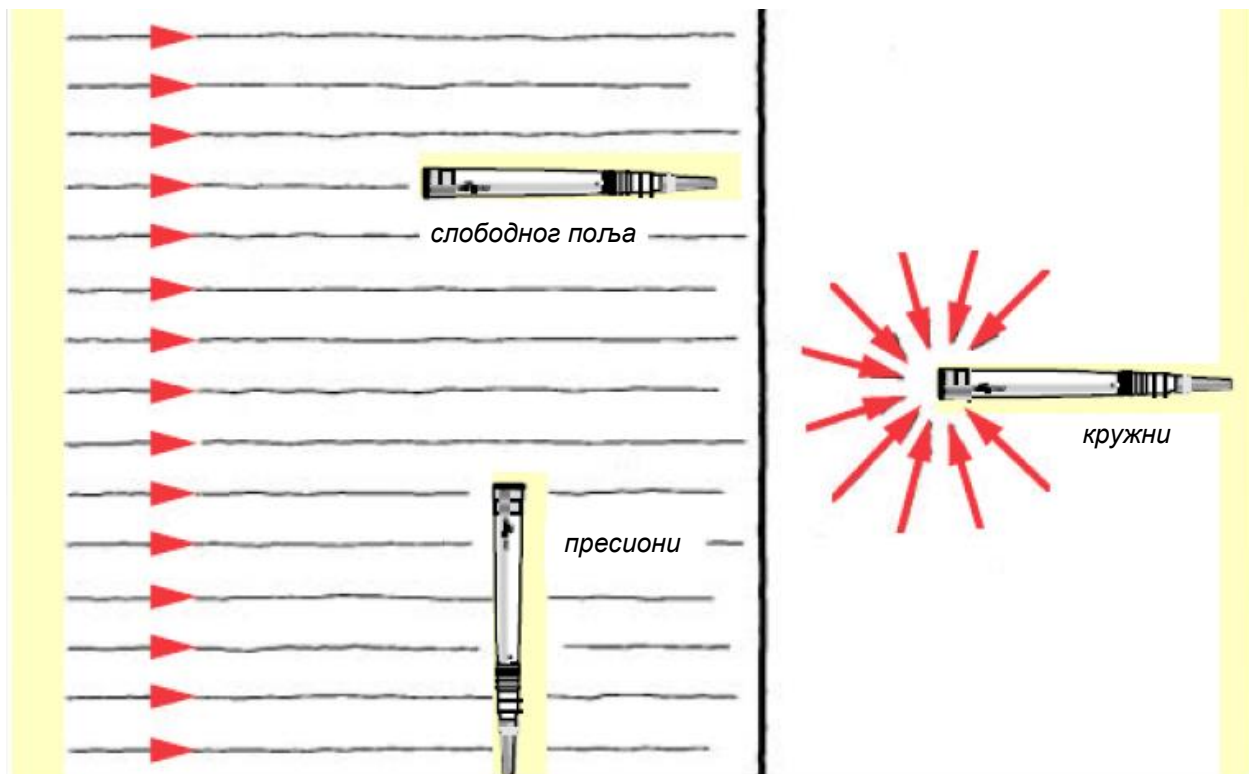
Постоје три типа микрофона, зависно од свог одзива у звучном пољу:

- микрофони слободног поља
- пресиони микрофони
- кружни микрофони

Микрофони слободног поља имају униформан фреквентни одзив на звучни притисак који је постојао пре увођења микрофона у звучно поље. Значајно је приметити да ће сваки микрофон нарушити звучно поље, али је микрофон слободног поља дизајниран да компензује то нарушавање звучног поља.

Пресиони микрофон је дизајниран да има униформни фреквентни одзив на стварни ниво звука. Када се пресиони микрофон користи за мерење у слободном звучном пољу, треба да се постави под углом од 90° у односу на правац простирања звука, тако да звучни талас тангира предњи део микрофона.

Кружни микрофон је дизајниран да униформно реагује на сигнале који истовремено стижу из свих правца. Када се користи у слободном пољу, треба да се постави под углом од $70-80^\circ$ у односу на смер простирања таласа.



Слика 14. Типови микрофона и начини постављања у звучном пољу[1]

Фонометри. Људско уво у основи чује звучни притисак, али његова осетљивост варира са фреквенцијом. Највише је осетљиво на звуке у фреквентном опсегу од 1kHz до 5kHz, док се на вишим и нижим фреквенцијама, осетљивост смањује. То је довело до развоја неколико фреквентних функција за скалирање, које покушавају да имитирају осетљивост људског ува. Такође, одзив људског ува на временски променљиве сигнале и импULSE довео је до развоја инструмената са дефинисаним временским функцијама оцене. Резултујућа мерна опрема је мерач нивоа звука – фонометар (звукoмер), дефинисан од стране међународног стандарда IEC 651.

Стандард IEC 651:1979 дефинише четири класе фонометара за различите тачности мерења, табела 10.

Табела 10. Класе фонометара према IEC 651:1979

Тип	Поље примене	Апсолутна тачност при референтној фреквенцији, правцу и нивоу звучног притиска, (dB)
0	Лабораторијски референтни стандард	± 0.4
1	Лабораторијска употреба и спољашња употреба тамо где акустично окружење може да се ближе одреди или контролише	± 0.7
2	Општа мерења на терену	± 1.0
3	Истраживање буке на терену	± 1.5

Фонометар мери звук који долази преко микрофона. Сигнал се појачава и може да се филтрира пре него што се на дигиталном или аналогном приказу појави вредност нивоа звука. У зависности од особина инструмената, корисник може да бира филтере или скале за пондерисање: А, В или С. Ове три скале покушавају да имитирају одзив људског ува на звуке ниског, средњег и високог интензитета, респективно. Корисници такође могу да одаберу брзи или спори одзив инструмента. Обични фонометри недовољно брзо реагују при мерењу импулсних звукова, ту се користе импулсни фонометри који обезбеђују брзи одзив, дајући читавања у dB вршних вредности прелазног звучног таласа.



Слика 15. Савремени ручни фонометри[1]

Фреквентни анализатори. Фреквентни анализатор мери расподелу нивоа звука дуж једног или више опсега. Он ради по сличном принципу као и фонометар. Типично, фреквентни анализатори дају очитавања расподеле по октавама, а неки могу да поделе октаве и на финије делове. Поделе су од велике помоћи при оцењивању проблема са буком и указивању на корективне мере на високим фреквенцијама.

Дозиметри. Радници носе дозиметре, слика 16, од којих су многи величине џепног паковања (беџа), слика 17, током целог радног дана. Дозиметар континуирано снима ниво звука и интегрални ниво звука у времену, релативно у односу на осмочасовни радни дан. Читањем интегралне вредности дозе буке на крају дана, лако се утврђује да ли су прекорачене дозвољене вредности.



Слика 16. Дозиметар[1]



Слика 17. Беџ за мерење дозе буке[1]

Табела 11. Препоруке за избор инструмената за мерење буке

Тип мерења	Одговарајући инструменти	Резултат	Напомене
Лична изложеност буци	1) Дозиметар	Доза или еквивалентан ниво звука	Најтачнији за мерење личне изложености буци.
	2) Интеграциони фонометар	Еквивалентан ниво звука	Ако је радник покретан, може бити тешко одредити личну изложеност, осим уколико се посао лако може поделити на дефинитисане активности.
	3) Фонометар	dB(A)	Ако нивои буке значајно варирају, тешко је одредити просечну изложеност. Користан је само када се посао може лако поделити на дефинисане активности при којима су нивои буке релативно стабилни све време
Бука коју генерише посебан извор	1) Фонометар	dB(A)	Мерење треба обавити на 1 до 3 m удаљености од извора буке (не директно на извору)
	2) Интеграциони фонометар	Еквивалентан ниво звука dB(A)	Посебно користан ако бука јако варира. Може да мери еквивалентни ниво звука у кратком временском периоду (1 минут).
Истраживање буке	1) Фонометар	dB(A)	Служи за стварање мапе буке једне области. Мерења се обављају у тачкама мреже области.
	2) Интеграциони фонометар	Еквивалентан ниво звука dB(A)	За веома променљиву буку.
Импулсна бука	1) Импулсни фонометар	Вршни притисак dB(A)	За мерење врха сваког импулса.

6. Утицај буке на здравље људи

Бука утиче на човека на више штетних начина. Иако је најпознатији утицај буке на оштећење слуха, постоје и многи други ефекти буке који доприносе појави незгода и здравствених проблема.

Бука може да буде непријатна. Непријатност је субјективна и делимично је функција садржаја буке. Нешто што је од значаја и пријатно за једну особу, може да смета другој због интензитета буке. Непријатност је повезана за време и место. Људе више иритира бука када се одмарају или покушавају да спавају.

Штетно дејство буке зависи од њених карактеристика (интензитет, спектар, сталност или испрекиданост, удари), тако и од експозиције, временске променљивости и усмерености буке, и најзад од индивидуалне осетљивости особе која је тој буци изложена. Сви ови бројни фактори се тешко могу једном формулом изразити, па је зато тешко дати јединствене критеријуме о штетном дејству буке, који би могли увек да се примене. Ово је поготово случај кад се има у виду да је бука на радном месту најчешће праћена и вибрацијама различитог интензитета, а некад и механичким дејством промена у ваздушном притиску (експлозије, пуцњи, удари)

Дејство буке на човека манифестује се кроз два вида:

- Акутне акустичне трауме
- Хроничне акустичне трауме

Веома јака бука може и за врло кратко време да произведе тешке патолошке промене (акутна акустична траума), док је код нешто нижих, али још увек високих, интензитета буке потребна дужа експозиција да би дошло до оштећења (хронична акустична траума). Механизми настанка патолошких промена нису код ове две врсте дејства буке исти, али је за данашњу индустрију типично да се у радном процесу јављају оба типа оштећења буком. У оба случаја настају наглувост, прогресивна наглувост и потпун губитак слуха. Оштећење и губитак слуха настаје оштећењем ћелија, нерава и комплетне структуре унутар уха. Примарна оштећења могу бити привремена, али ако се излагање понавља, постају трајна. Радници у фабрикама, војници, ватрогасци, полицајци, грађевинари, музичари, посебно су угрожени део популације. При томе је важно напоменути да се штетно дејство буке ни у ком случају не ограничава само на слух, већ да има далеко шире дејство на целокупан организам.

Здравствени проблеми због буке укључују следеће:

- тешкоће у комуникацији и концентрацији
- стрес и раздражљивост
- проблеми са сном
- кардиоваскуларни проблеми
- психолошки поремећаји
- смањена радна ефикасност (продуктивност), и
- друштвено понашање

Данас готово да нема радног места или насеља које није изложено буци. Процес индустријализације и урбанизације непрекидно повећава извор 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. Дејство буке на организам може да бити:

- Екстра-аудитивно
- Аудитивно
- Психогено

Под екстра-аудитивним дејством подразумева се дејство на све органске системе: утиче на централни нервни систем, на глас и говор, делује на крвне судове, срце и остале органе и системе органа.

Под аудитивним подразумева се дејство на чуло слуха при чему може доћи до делимичног или потпуног оштећења, а може бити узрок и тежим психичким поремећајима.

У први степен интензитета спада бука од 30 до 65 dB, која само код јако осетљивих особа може изазвати лакшу узнемиреност, главобоље, повремену раздражљивост и немиран сан. Она се углавном добро подноси.

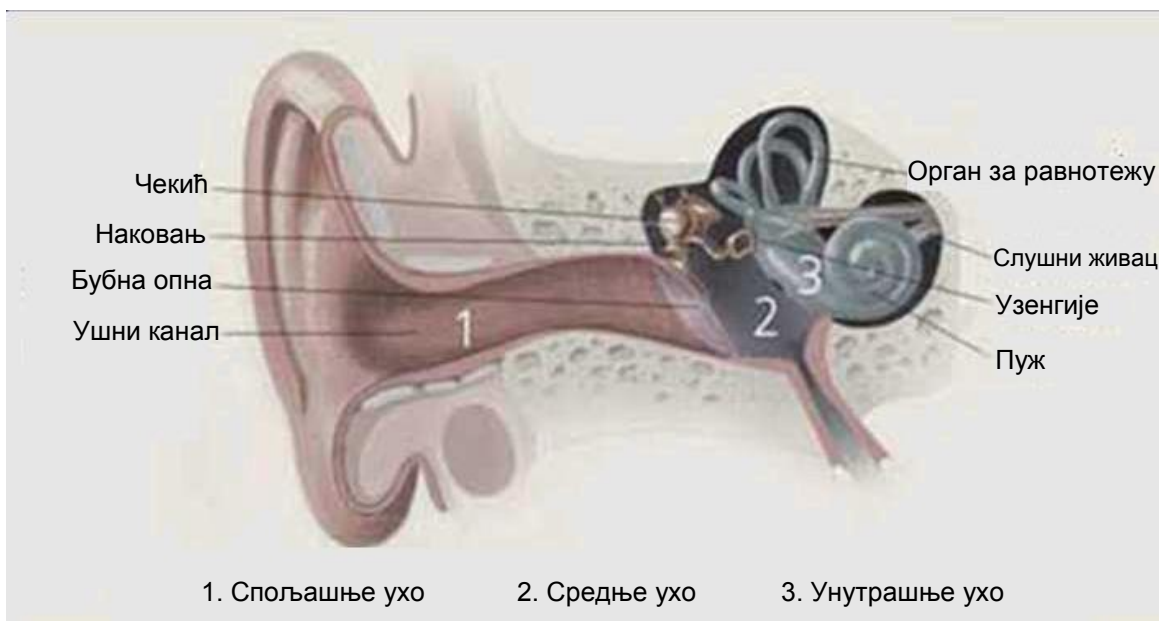
Други степен чини бука од 65 до 90 dB, код које се већ уочавају и неуровегетативне сметње, са ефектима како на слуху, тако и на целом организму. Дужа експозиција, кроз више година, изазива трајна оштећења слуха.

Трећи степен, од 90 до 110 dB представља јаку буку коју обично прате и вибрације. Она изазива код већине људи тешке неуровегетативне сметње и прогресивни губитак слуха у релативно кратком времену.

Четврти степен буке од 110 до 130 dB човек не може дуже издржати, јер изазива брзе неуроциркулаторне сметње и губитак слуха. Ако је бука преко 130 dB, оштећења су практично моментална.

6.1. Оштећења слуха услед дејства буке

Прекомерна бука може изазвати оштећење деликатног механизма који треба да прими звук – људског уха.



Слика 18. Физиологија људског уха[1]

Оштећења слуха су функција времена трајања изложености и интензитета буке. Високе фреквенције више оштећују слух од ниских, док континуална бука више оштећује слух од прекидне буке. Такође, постоје и индивидуалне разлике између људи – иста изложеност не мора да изазове иста оштећења слуха код две различите особе.

Постоји више врста оштећења слуха. Нека оштећења слуха су резултат болести, као што су инфекције средњег уха и формирање ткива ожиљка на бубној опни. Друга оштећења су резултат трауме, као што је пробијање бубне опне или раздвајање костију средњег уха. Сметње у преносу звука укључују оштећења спољашњег и средњег уха. Губитак осетљивости укључује оштећења Кортијевог органа и осетних нерава. Оштећење слуха које може да се јави у мозгу укључује тешкоће у интерпретацији звука. Постоје и психолошка оштећења слуха која немају физиолошку основу.

Привремени померај прага чујности (енгл. *Temporary Threshold Shift – TTS*). Праг чујности се повећава након излагања прекомерној буци, зато што звук оштећује Кортијев орган и његове рецепторе. Релативно кратко излагање јакој буци, може да изазове појаву помераја прага чујности. Ова неспособност је привремена и осетљивост слуха се враћа на првобитни ниво после одређеног времена опоравка.

Трајни померај прага чујности. Континуално излагање буци које изазива привремени померај прага чујности, изазива трајно смањење осетљивости слуха или трајни померај прага чујности. Осетљивост се не враћа након периода опоравка, а оштећење слушних органа постаје трајно.

Акустична траума. Бука од експлозије и сличних нивоа звучних таласа може пробити бубну опну или оштетити структуру средњег и унутрашњег уха. Такво оштећење је привремено, повређено ткиво се зацељује, а слух се враћа у пуном или скоро пуном степену.

6.2. Психофизиолошки ефекти буке и утицај на промене у понашању

Некада се сматрало да је дејство буке ограничено на орган слуха, али данас је већ доказано да је њено дејство много компликованије. Бука веома озбиљно погађа нервни систем, и то како централни тако и вегетативни, а преко овога утиче и на друге системе органа, пре свега срце, крвне судове, крвни притисак и многе друге органе и ткива, у којима изазива промене и функционалне сметње.

Неаудитвни здравствени поремећаји израз су физиолошке реакције на стрес. Већина учинака је краткотрајна и пролазна: сметње кардио-васкуларног и имунолошког система, смањење пажње и памћења, сужење видног поља, али могу прећи у хроничне: несаница, повишен крвни притисак, поремећај апетита и сексуалне функције, напетост и депресија. Агресивно понашање јавља се теко код буке изнад 80 dB.

Бука може узроковати озбиљне кардио-васкуларне проблеме, она подстиче факторе ризика коронарних болести, ремети рад срца, а промене се лако уочавају на електрокардиограму. Нискофреквентна бука великог интензитета може да доведе до исхемије миокарда (локални прекид дотока крви мишићном ткиву срца). Обољења ендокриног, гастроинтестиналног, периферног и централног нервног система, настала повећаном буком, лако се могу констатовати биохемијском анализом. Биохемијске анализе у серуму радника изложених буци и контролне групе показале су да радници изложени буци на радном месту имају статистички значајно веће вредности укупног

холестерола, триглицерида. ЛДЛ холестерола и значајно ниже вредности ХДЛ холестерола.

Излагање буци током спавања доводи до промена у фреквенцији срчаног рада и дисања као и јачине пулса. Испрекидана бука скраћује период дубоког спавања чинећи сан површним или доводећи до буђења. Ефекти буке након буђења испољавају се у виду умора, промена у расположењу, слабије субјективно процењеном квалитету сна, паду радне способности и дугорочним психосоцијалним и здравственим ефектима.

Међу бројним негативним психолошким последицама које се код становништва угроженог комуналном буком могу очекивати, ремећење спавања сматра се основном и најважнијом. У погледу извора буке посебно неповољно деловање на спавање има бука тешких возила и возова. Низ теренских студија указало је на високу учесталост психолошких субјективних сметњи код људи настањених у областима са високим нивоом комуналне буке (пored аутопутева). Показало се да се становници значајно чешће жале на осећање изразитог умора, „нервозу стомака“ и главобоље него становници контролног насеља са нормалним нивоом буке. Доказано је да бука представља један од значајних фактора неуротизације личности.

Континуирана изложеност изворима умереног нивоа буке као нпр. компјутерски штампач, вентилациони системи, са психолошког аспекта омета нормалну људску комуникацију и има дуготрајне последице које се читавају смањеном толеранцијом фрустрација, повишеним прагом реаговања, а чак и минимална бука узрокује пораст анксиозности, агресивног и непријатељског понашања што доводи до дехуманизације у међуљудским односима.

6.3. Други негативни ефекти буке

Утицај на комуникацију. Бука може да се помеша са звучним упозорењима намењеним за спречавање незгода. На пример, особа може да не чује сирену возила или воза у бучном окружењу. Бука може да се помеша са дозивима у помоћ и спречи покушаје спасавања.

Бука, такође, може да утиче и на говорну комуникацију. Радник може да погрешно разуме шта други причају. *На пример, два оператера, А и Б, на истој преси, морају да користе говорну комуникацију, на бучном радном месту, да би управљали радом пресе, пошто постоји само један сет за управљање. Радник А каже: „Сачекај мало!“, али радник Б, који управља радом машине услед утицаја буке мисли да је радник А рекао да настави. Радник А тада креће ка опасној зони да извади део, док радник Б помера пресу преко руке радника А.*

Трзај. Изненадна бука ће изазвати несвесни трзај код људи, реакција је невољна и карактерише се повећањем крвног притиска, ширењем зеница и контракцијом мишића. Сваки пут када се јави јака бука, јављају се овакве реакције, али се након неколико минута услови враћају у нормалу. Такве реакције могу да изазову грешке у критичним ситуацијама.

Физиолошке реакције. Истраживања на људима који раде у бучним окружењима указују да они имају чешћу појаву проблема са циркулацијом, срчаних болести, чирева и других медицинских проблема. Нивои буке којој су изложене жене у трудноћи су повезани са малом тежином беба на порођају. Многи од ових утицаја јављају се на нивоима буке

испод оних који се везују за оштећење слуха. Излагање веома високим нивоима буке може да изазове несвестицу и мучнину.

Поремећаји сна. Бука може некад да спречи човека да заспи и изазове да неки човек пређе из стања дубоког сна на лакше нивое сна или у стање буђења. Прекид сна може да утиче на учинак човека током дневних активности.

Друштвени утицаји. Бука утиче на друштвено понашање људи. Сметње у комуникацији услед буке могу да подигну ниво фрустрације и утичу на везе. Бука може да одвуче пажњу од критичних активности и доведе до појаве главобоље, иритираности у односима према другим људима, беса, умора и, понекад, може да доведе и до екстремних понашања.

7. Заштита од буке

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, примени личних заштитних средстава и др. Заштита од буке обухвата техничку и медицинску заштиту.

Са становишта простирања звука постоје материјали који пропуштају, апсорбују или који одбијају звук. Ово је од значаја код избора материјала за изградњу пословних објеката и машина, уређаја, постројења. Подови, зидови и таванице, односно све слободне површине уређаја, треба да су прилагођене енергетском билансу са становишта простирања звучних таласа, како у случају спречавања ширења, тако и у случају спречавања продирања звука. Меки материјали (плута, филц, синтетичке тканине) апсорбују највећи део звука, мада рефлектују део таласа ниже фреквенције. Тврди материјали (камен, метали) одбијају већи део звучних таласа.

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

Заштита од буке подразумева примену звучне изолације на вратима, зидовима и оплати уређаја; ограђивање индустријске области, подизање вегетације која апсорбује и преусмерава звучне таласе, одвајање градских зона за живот од радних и сл. На поједине производне и радне процесе може се утицати како би пратећа бука била што мања. На пример, покретни елементи, уређаји и системи треба да су пројектовани и реализовани са уским толеранцијама, високим квалитетом и тачношћу, правилно подмазани, оптерећени итд. Код ковања, пресовања, пробијања, машинске и других метода обраде, параметри режима, технолошки поступак, избор алата и прибора у великој мери могу да утичу на пораст или смањење буке. Мотори са унутрашњим сагоревањем, компресори, пумпе, вентилатори и турбине морају бити снабдевени уређајима за пригушење звучних таласа.

Радни простор треба да има одговарајућу акустичност, која, у општем случају, мора да обезбеди амортизацију разностраног простирања звука. Изузетак су концертне дворане, позоришта и амфитеатри, јер је код њих од интереса обезбедити чујност у свим деловима простора. У највећем броју случајева, акустичност радног простора треба да има прилагођен однос (баланс) апсорбованих и рефлектованих звучних таласа. Расипање, концентрисање и изолација звучних таласа постиже се погодним избором основног материјала, материјала облоге, њихове дебљине и облика слободне површине. Међусобни положај великих равних површина треба да је такав да спречи интерференцију директних и рефлектованих таласа.

Индивидуална техничка заштита подразумева коришћење одређених средстава, која непосредно смањују интензитет звучног таласа на бубним опнама. За буку јачине до 75 dB користи се вата, а за буку јачине до 85 dB ушни чепови. Вата умањује буку 5 – 10 dB, а ушни чеп 10 – 15 dB. Када је бука до 105 dB користе се штитници за уши – наушнице (антифони), чији је ефекат умањења 15 – 30 dB (SRPS EN 352-2).

Медицинска заштита подразумева активно праћење здравственог стања људи, који су изложени сталном деловању буке великог интензитета, као и дефинисање временских норми за рад и одмор и дозвољеног интензитета буке

Постоји доста мера заштита од буке, а најпознатије су:

Организационе мере: временско ограничавање рада извора буке (грађевинских и других машина при градњи, угоститељских објеката и сл.)

Организационо – техничке мере: редовно одржавање и сервисирање уређаја, избор уређаја који стварају мању буку (данас се већ рекламирају „тихе“ машине за прање веша...)

Грађевинско – планске мере: просторно одвајање извора буке, правилан распоред машина, правилан распоред објеката (не стављање бучних погона у тзв. стамбене зоне).

Техничке мере: изолација извора буке, уградња пригушивача, локална изолација (на становима и кућама обезбедити добро затварање по могућности двоструких и/или изолационих стакала, обезбедити добру звучну изолацију зидова и подова).

Организационе мере које се предузимају ради ублажавања или потпуног уклањања буке су: отклањање узрока буке, изоловања извора буке, ограничавање ширења буке и коришћење личне заштите радника. Могућност смањења буке на самом извору звука је прилично ограничена, али није искључена. Прецизна израда делова машине, отклањање сударања металних делова, уметање амортизера између појединих делова и друге сличне мере смањују буку при раду машине. Организационе мере које се највише предузимају против буке су:

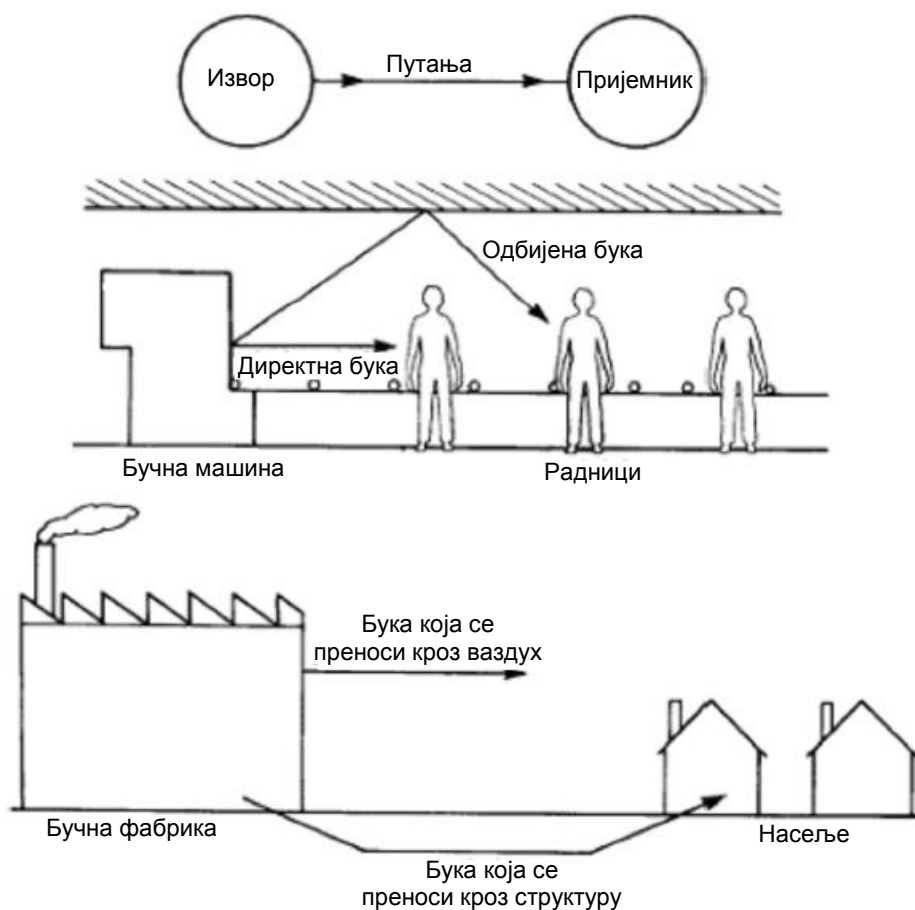
- постављање машина на гумене подметаче или амортизере,
- изоловање радних места која изазивају буку и
- апсорбовањем звукова на зидовима просторија

И поред свих ових техничких мера ипак ће бити радних места на којима ће радник бити изложен буци од преко 100 dB и у таквим случајевима ће се морати применити средства личне заштите. Углавном су то чепови за уши. Вата није довољно ефикасна, а восак, који се често користио раније, неретко изазива екцеме. Вештачке материје (сектон) представљају напредак у поређењу са класичним средствима. Њихова је предност да мање пригушују дубоке тонове него звуке високе фреквенције, те омогућују разговор. Средства личне заштите су добра и не представљау сметњу, али велики број радника избегава да их користи.

8. Методе за контролу буке

Пре него што се размотре методе за контролу буке, важно је запамтити да бука у било којој тачки може да потиче из више од једног извора и да се додатно може повећати одбијањем о зидове (реверберациона бука).

Код било ког проблема са буком постоје три одвојена сегмента – извор, путања простирања и пријемник (слика 19).



Слика 19. Извор, путања и пријемник буке[1]

Када се идентификује природа и величина проблема са буком, морају се обезбедити основни елементи програма контроле буке. Када је проблем очигледан, постоје три степена приоритета при решавању:

1. Сагледати проблем са инжењерске стране, куповином мање бучне опреме, изменом процеса или променом поступка рада
2. Применити конвенционалне методе контроле буке, као што су употреба звучно изолованих простора и пригушивача
3. Тамо где ниједно од прва два решења не може да се употреби, последњи излаз је обезбеђење опреме за личну заштиту радника

Дакле, контрола буке може се остварити:

- инжењерским методама;
- административним мерама и
- личном заштитом

Такође бука се може контролисати деловањем на:

- извор буке;
- путању простирања буке или
- пријемник

Врло често, најбоље је комбиновати различите методе за контролу буке, јер нека решења имају физичка ограничења, док друга имају економска ограничења.

8.1. Контрола буке инжењерским методама

Инжењерске методе контроле буке подразумевају употребу физичких средстава која смањују буку на извору, дуж путање простирања или у чујној зони човека – пријемника. Инжењерске методе су често трајна и ефикасна решења проблема са буком. Зато их треба користити као основна средства за контролу буке, када је то практично могуће. То укључује замену бучних машина или процеса, постављање баријера или ограђених простора и модификацију извора буке.

Инжењерске методе могу се груписати у четири класе:

- спречити појаву извора буке пре него што се бука уведе у радно или било које друго окружење;
- ако постоји извор буке, заменити опрему, процес или материјал са мање бучним;
- ако се извори буке не могу заменити, модификовати их ради смањења емитоване буке и
- модификовати звук који се простира окружењем

Неки примери контроле нивоа буке инжењерским методама су: звучна изолација кабина на камионима, тракторима и другим грађевинским возилима и звучна изолација генератора.

8.2. Административне мере у контроли буке

Свака мера која значајно смањује дневну изложеност радника буци контролисањем распореда посла или производње, је административна мера. Неки примери су: смањење времена трајања изложености ротацијом послова и распоредом времена рада машина, да би се смањио број радника изложених буци.

Административне мере треба узети у обзир онда када се инжењерске методе не могу предузети или када не успевају да смање буку на прихватљиви ниво. Међутим, административне мере не треба користити као једино средство за спречавање оштећења слуха, јер оне не смањују ниво буке.

8.3. Употреба средстава заштите радника од буке

Када инжењерске и административне мере не доведу изложеност буци на прихватљиви ниво, императив је коришћење средстава за личну заштиту слуха у циљу спречавања губитка слуха. Међутим, коришћење средстава за личну заштиту слуха није трајно решење, пошто она не смањују и не елиминишу ризик од буке. Њихова ефикасност зависи од тога да ли добро пристају раднику и да ли се редовно користе. Њихово неношење значи моментално излагање ризику.

8.4. Контрола буке деловањем на извор буке

Иако је контрола буке на извору најочигледнији избор, могућност примене ове методе је често ограничена дизајном машине, процеса или метода рада. Многи потенцијални проблеми са буком могу се решити избором мање бучне опреме. Када се купује нова опрема, захтеви према опреми треба да укључе и дозвољен гранични ниво емитоване буке или захтев испоручиоцу да обезбеди податке о бучности опреме. Уколико се бука не узме у обзир у фази дизајна, модификација постојеће опреме употребом пригушивача, специјалних млазница или изолатора може се понекад показати ефикасном. Још једна метода смањења буке на извору је замена бучне опреме мање бучном опремом. На пример, замена малог брзог вентилатора великим споријим вентилатором често смањује буку.

Када се купује мобилна опрема, треба захтевати да ниво буке у кабини не прелази 85 dB. Виши почетни трошкови изоловане покретне опреме могу бити мањи од трошкова модификовања кабина специјалним материјалима и уређајима. Изненађујући ниво буке може да се појави у транспорту материјала. Иако се брзине конвејера често не могу мењати због продуктивности, висине падања могу се често смањити, а тачке удара падајућег материјала могу се обложити гуменим или пластичним јастуцима који смањују буку. Излаз компримованог ваздуха из актуатора на вратима и капијама, такође генерише буку. Излазни ваздух (и бука) могу се одвести цревима и цевима до удаљених места или до излазних пригушивача.

Још један уобичајени извор буке су млазеви ваздуха који се користе за хлађење, сушење, померање или чишћење објеката. На располагању су специјалне ваздушне млазнице које смањују буку обичне млазнице и до 20 dB и смањују захтеве за протоком компримованог ваздуха. Табле лима при удару могу да произведу значајан ниво буке. Бука се може смањити пригушивањем вибрација. На пример, пригушење вибрација на улазу и излазу преса за просецање може да смањи буку од 5 до 10 dB. Неки пнеуматски ручни алати су веома бучни. Зато постоје алати са смањеном емисијом буке и треба их купити увек када је то могуће.

8.5. Контрола буке деловањем на путању простирања буке

Избор оријентације и локације опреме. Контрола се може постићи удаљавањем извора буке од области осетљиве на буку. У другим случајевима, када машина не емитује буку исте јачине у свим правцима, заокретањем машине могу се постићи знатне уштеде.

Примена звучне изолације. Акустички оклопи су најчешће коришћена мера за контролу буке у многим индустријским гранама. Такви оклопи могу бити у облику оклопа машина или оклопа за раднике и обезбеђују одлично средство смањења изложености буци.

При конструисању акустичног оклопа, потребан је систематски приступ и велика пажња при конструкцији детаља. То укључује одређивање губитка при преносу материјала облоге на основу траженог смањења буке и узимање у обзир појачања буке услед одбијања унутар оклопа.

Редукција звука, атенуација или пригушење се дефинише као разлика у нивоу звучног притиска или нивоа звучне снаге пре и после постављања изолације (или примене било ког другог облика контроле буке). Оклопи који смањују ниво буке између 10 и 30 dB су најбоље решење, јер контролишу и директно поље емисије и поље одбијања компоненти буке.

Основне компоненте оклопа који се често користе су спољашњи дебели зид и унутрашња постава од акустички упијајућег минерала која служи за минимизацију буке одбијене унутар изолованог простора. Унутрашња мрежа од избушеног лима може се користити за минимизирање механичких оштећења.



Слика 20. Пример звучно изолованог генератора[13]

У неким случајевима, радници се могу изоловати од бучних машина стављањем у „тихе“ кабине или контролне собе. То обично захтева постављање прозора и, понекад, могућност управљања удаљеном опремом преко даљинских команди. Још један пример је изолована канцеларија на бучном фабричком приземљу.



Слика 21. Звучно изолована кабина[14]

Када се разматра употреба изолације било ког дела опреме, важно је узети у обзир и друге аспекте, поред захтеваног смањења буке. Мора се обезбедити вентилација ради спречавања прегревања изоловане опреме. Тамо где се тражи вентилација, сваки отвор мора бити пригушен. Посебна пажња, још у раној фази конструисања, мора се посветити захтевима за приступ ради одржавања и производње.

Непокретни извор буке може се поставити у изоловану кутију, кабину или собу. На овај начин се контролишу бучни генератори и машине за рендисање. Оклоп обично има два слоја – спољашњи слој од тешког, крутог материјала као што су дрво, метал или бетон и унутрашњи, пенасти слој који апсорбује буку.

Термичко облагање у облику алтернативне изолације може се користити код цеви кроз које протиче пара или врела течност, чиме се може постићи смањење буке од 10 до 20 dB, али је мера ефикасна на фреквенцијама већим од 500 Hz.

Употреба пригушивача. Пригушивачи се користе да сузбију генерисану буку у случајевима када се у атмосферу кроз цеви испуштају ваздух, гас или пара. Пригушивачи могу бити:

- апсорпциони (звук се апсорбује акустички апсорпционим материјалом) и
- реактивни (звук се одбија због промена у геометријском облику)

Апсорпциони пригушивач обично има боље перформансе на вишим фреквенцијама, док су реактивни пригушивачи ефикаснији за контролу на ниским фреквенцијама.

Употреба акустичких паравана (баријера, завеса). Акустични паравани, слика 22, су ефикасни у смањењу компоненте преноса буке директно од извора и до 15 dB.

Међутим, највише помажу при високим фреквенцијама, док при ниским фреквенцијама њихово дејство има малог ефекта, а ефикасност опада са удаљавањем од паравана.



Слика 22. Примена акустичног паравана[15]

Звучна баријера је штитник или самостални зид који се користи за контролу преноса буке кроз ваздух, када се постави између извора буке и пријемника. Баријере се користе за акустичку заштиту у случајевима када би комплетно покривање машине или другог извора буке утицало на њихов рад.

Акустичке завесе су веома популарне у индустрији, што се може приписати њиховој акустичкој ефикасности, разноликости и лакоћи инсталације. Материјали за израду акустичких завеса су обично глатки најлони, који су савитљиви и отпорни на индустријско окружење. Акустичке перформансе тракастих завеса повећавају се са дебелином и преклопом између трака. Међутим, ретко се остварује смањење буке од преко 10 dB.



Слика 23. Примена акустичких завеса[15]

Апсорпција звука. У ситуацијама када постоји велики степен одбијања звучних таласа, тј. када је зграда „акустички тврда“, реверберациона компонента буке може да доминира у пољу буке, у већем делу радне површине. Примена акустички апсорпционих материјала у облику зида и/или функционалних апсорбера на висини плафона, као што је приказано на слици 24, смањиће компоненту одбијене буке и до 10dB. Материјали који могу да се користе за апсорпцију буке су: минерална вуна, стаклена вуна или пена.



Слика 24. Примена апсорпционих материјала у циљу смањења буке[1]

„Маскирање звука“. Тамо где је важна приватност при разговору, може се употребити „маскирање“ звука повећањем буке у позадини, која тако маскира говор или неке тонове. Овај принцип може се успешно користити само у просторијама или канцеларијама где нема превеликог одбијања звука и где је ниво буке у позадини мањи од 45 dB

8.6. Заштита радника од буке

Две главне методе заштите радника од буке су обезбеђење „глуве собе“ и ношење чепова за уши или антифона, слика 25.



Слика 25. Средства за личну заштиту слуха радника – чепови и антифони[16]

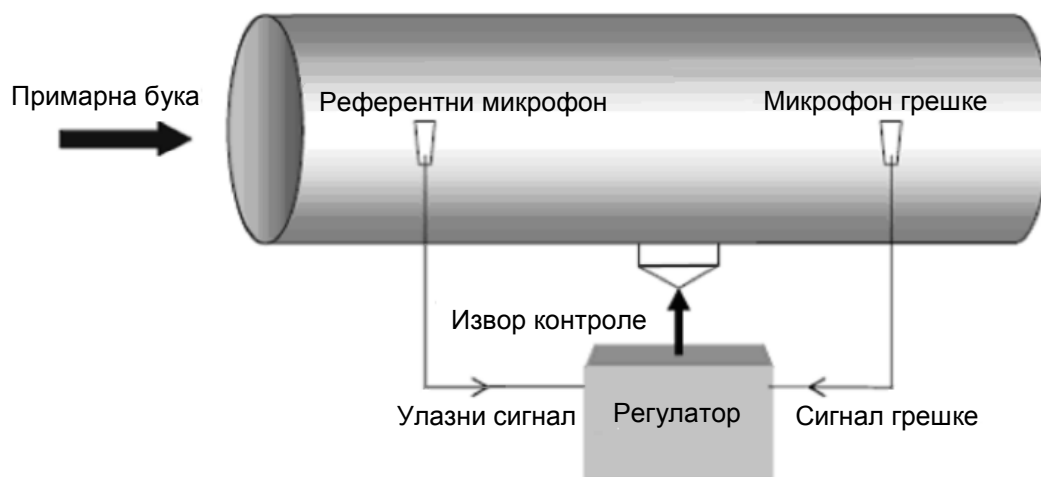
„Глува соба“ је слична по конструкцији акустички изолованој просторији и служи да спречи улазак буке.

Чепови за уши и антифони треба да буду само последња мера за контролу буке. При њиховом избору треба узети у обзир извор буке, окружење и комфор онога ко их носи. Чепови за уши су ефикасни само до нивоа буке од 100 – 105 dBA, док антифони могу да пруже заштиту на вишим нивоима буке.

8.7. Активна контрола буке

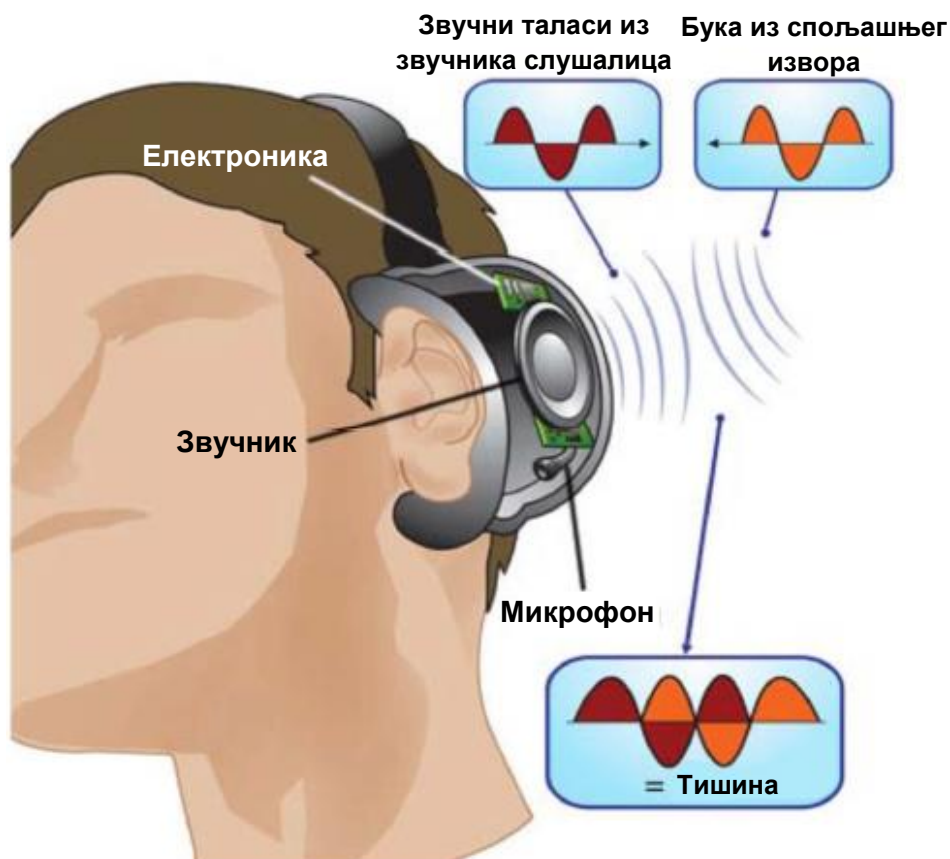
Активна контрола буке је процес смањења постојеће буке увођењем додатне буке. Додатна бука може се увести различитим механизмима. Активна контрола буке може се применити на буку ниске фреквенције која постоји у кабини и слушалицама или на буку широког опсега, као што је бука у ходницима.

Основни концепт активне контроле буке илустрован је на слици 26. Референтни или улазни микрофон прати основну буку и претвара звучни притисак у електрични сигнал. Сигнал се шаље у регулатор, где се генерише нови сигнал. Тај нови, контролни сигнал активира контролни извор (звучник) који производи интерференцу која поништава нежељену буку. Сензор грешке открива заостали звук после контроле и шаље сигнал грешке назад у регулатор, који прилагођава и модификује контролни сигнал да би се оптимизовао процес поништавања буке.



Слика 26. Активна контрола буке[1]

Пример развијене технологије за активну контролу буке су слушалице за поништавање буке, слика 27. У слушалицама се ствара звучни талас који поништава дејство звучног таласа од извора буке. Овакве слушалице не могу се користити у радним окружењима где је потребна комуникација између радника.



Слика 27. Принцип рада слушалица за поништавање буке[1]

9. Примена средстава за личну заштиту слуха

9.1. Заштита слуха на радном месту

Најсигурнији метод спречавања губитка слуха на радном месту је смањење количине и јачине буке на њеном извору коришћењем инжењерских метода. Међутим, у одређеним условима радне средине, постоји веома мало могућности за смањење буке на њеном извору или је то готово немогуће постићи. На таквим радним местима радници користе заштитна средства која умањују количину буке која допире до органа слуха.

Лична средства за заштиту слуха су генерално све оно што се носи у циљу смањења буке која допире до ува. Средства за заштиту слуха подложна су многим проблемима и по правилу се разматрају као последње средство у условима високе буке. Може се десити да средства за заштиту слуха не успеју да пруже адекватну заштиту у многим ситуацијама услед неудобности, неправилне употребе са другом заштитном опремом, пропадања и злоупотребе. Средства за заштиту слуха пружају највећу заштиту против буке високе фреквенције и мању протекцију од буке ниске фреквенције. Упркос томе, заштитна опрема пружа заштиту од губитка слуха узрокованог буком уколико је њена употреба пажљиво планирана, оцењена и надгледана.

Коришћење средстава за личну заштиту слуха се препоручује уколико ниво буке прелази вредност од 85 dB (A – фреквенцијски пондерисан ниво звука) или dB(A). Сама заштитна средства смањују количину изложености буци и умањују ризик од губитка слуха. Уколико је неопходно коришћење средстава за личну заштиту, онда је потребно покренути комплетан програм и низ мера са циљем очувања слуха. Програм очувања слуха обухвата процену буке, избор заштитних средстава, обуку и едукацију запослених, звучна тестирања, одржавање, инспекцију, вођење евиденције и оцену програма.

Ефективност средстава за заштиту слуха значајно опада уколико сама средства не одговарају ваљано или уколико се само периодично носе у току временских периода током којих долази до излагања буци. Ради одржавања њихове ефективности, потребно их је модификовати или прилагодити. Радио слушалице нису адекватна замена средствима за заштиту слуха и не треба их носити тамо где су средства за заштиту неопходна ради заштите изложености буци.

Избор средстава за заштиту слуха потребно је извршити тако да:

- буду одговарајућа за то посматрано радно место (као референцу узети одговарајући стандард, или се обратити служби одговорној за прописивање закона у вези безбедности и здрављу на раду за више информација)
- Пружају одговарајући ниво заштите.
- Буду довољно удобна да би била прихваћена од стране радника и па самим тим и ношена.

9.1.1. Типови средстава за личну заштиту слуха

Чепићи за уши се користе тако што се уметну у ушни канал ради блокирања продирања буке. Они могу бити претходно обликовани или прилагодљиви (чепићи од пене). Чепићи за уши се продају као производи за једнократну или виšekратну употребу. Такође су доступни и чепићи који су обликовани по наруџбини.



Слика 28. Прилагодљиви чепови за уши произвођача JSP[17]

На слици 28. видимо *PU Foam SoundStopper™* модел прилагодљивог чепца за уши произвођача JSP са и без канапа који треба да смањи притисак на ушни канал и пружи максималну заштиту од буке са SNR оценом 33.



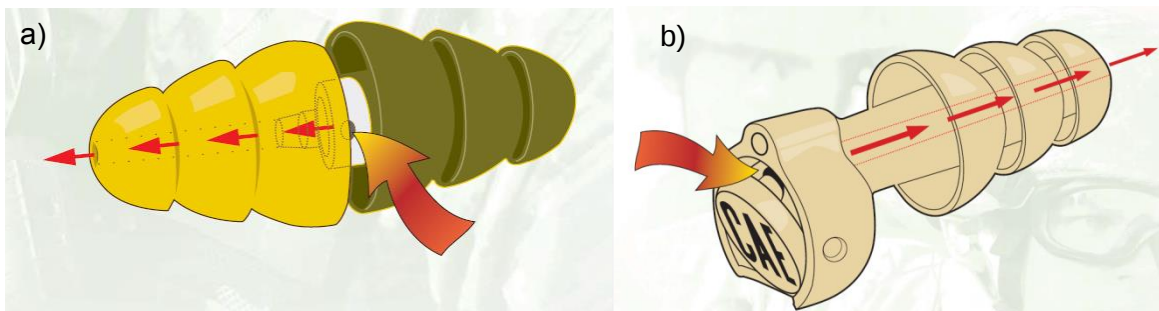
Слика 29. Претходно обликовани чепови за уши везани канапом[17]

На претходно приказаној слици приказани су *Maxifit Pro™* и *Megaplug™* модели чепова за уши повезаних канапом произвођача JSP који се могу прати и долазе у хигијенским кутијама за лако ношење. Чепићи *Maxifit Pro™* су чепићи за виšekратну употребу и могу се прати, имају $SNR = 26$. Чепићи *Megaplug™* су чепићи за једнократну употребу и њихова оцена редукције буке је $SNR=24$.

Компанија 3M™ производи чепове за уши који омогућавају корисницима да чују звуке нижих нивоа а уједно пружају тренутну заштиту од буке високог нивоа као што су пуцњи из ватреног оружја и експлозије, као и заштиту од константне буке (летелице, оклопна возила, итд.). Постоји цела серија производа 3M™ *Combat Arms*™ чепова за уши који се користе углавном у војној индустрији као и за потребе оружаних снага и код које се разликују два основна типа чепова, а то су двострани и једнострани чепови (слика 30.). Ови типови чепова за уши омогућавају већу ситуациону свесност од обичних чепова за уши, док помажу код ублажавања опасно високих нивоа буке уз помоћ интегрисаног елемента за филтрирање, са могућношћу брзог реаговања у циљу пружања повећане заштите (слика 31.). У затвореном/константном режиму заштите, ови чепови пружају заштиту од константне буке високог нивоа као што је случај у гусеничарима и код ваздушног саобраћаја. Верзије чепова повезаних канапом користе преклопни поклопац којим се може управљати додиром прста док се чепови налазе у увету. Ови чепови пружају (NRR) заштиту од 22 dB до 30 dB, у зависности од модела.



Слика 30. 3M™ *Combat Arms*™ чепови за уши[16]



Слика 31. Принцип функционисања заштите код ових типова чепова[16]

Код чепова једностраног типа имамо два режима рада (отворени и затворени). Када је чеп у отвореном моду (слика 31 под *b*) звук улази у чеп и пролази кроз звучни канал до специјалног филтера, тај филтер омогућава звуцима ниског нивоа да прођу уз ограничено прекидање док ограничава импулсну буку високог нивоа. Што је импулс интензивнији то је његово ограничавање веће. Уколико је чеп у затвореном режиму он ограничава сву буку.

Код чепца двостраног типа (слика 31 под *a*) звук улази кроз отвор на средини чепца и путује кроз звучни канал жутог краја чепца ка специјалном филтеру, тај филтер омогућава звуцима ниског нивоа да прођу уз ограничено прекидање док ограничава импулсну буку високог нивоа. Што је импулс интензивнији то је његово ограничавање веће.

Као један од типова чепова за уши требало би поменути и чепове за уши које је могуће детектовати детектором метала (слика 32). Овај тип чепова за уши је посебно развијен за примену у индустрији прераде хране, у фармацеутској индустрији као и свуда где је веома битно спречити контаминацију чеповима за уши самих производа, као и производних процеса. Способност детекције ових чепова за уши постиже се тако што се они производе са имплементираним кугличним лежајевима у саме чепове као и производњом канапа/веза са честицама метала које је могуће детектовати већином сензора за детектовање метала.



Слика 32. Неколико типова чепова за уши произвођача 3M™ које је могуће детектовати сензорима за метал: 1) 3M™ E-A-R™ Push-Ins™ Metal Detectable Corded Earplugs 2) 3M™ E-A-R™ Classic™ Metal Detectable Earplugs 3) 3M™ E-A-R™ UltraFit™ Metal Detectable Corded Earplugs 4) 3M™ E-A-Rsoft™ Metal Detectable Corded Earplugs. [16]

Уз развој технологије долази и до развоја средстава за личну заштиту слуха. Применом нових технологија произвођачи као што су *Doppler Labs* и *Surefire* су развили модерне чепове за уши са циљем да поред заштите слуха обезбеде и могућност нормалне комуникације пропуштањем тонова који нису потенцијално штетни по слух.

DUBS Acoustic Filters су технолошки напредни чепови за уши који смањују јачину звука без жртвовања његове јасноће и развијени су од стране инжењера акустике и дизајнера фирме *Doppler Lab*.



Слика 33. Модерни чепови за уши *DUBS Acoustic Filters* фирме *Doppler Lab*[18]

DUBS Acoustic Filters су чепови за уши који су унапред подешени да циљају само одређене фреквенције и направљени су тако да смање штетну јачину звука без жртвовања јасноће звукова које желимо да чујемо. Од концертних дворана и спортских догађаја, до аеродрома и градилишта, *DUBS Acoustic Filters* имају за циљ да одрже нашу везу са звуцима око нас уз коришћење филтера који пружа заштиту од 12 dB NRR-a. Ублажавају акустични утицај звука на чуло слуха и умањују губитке слуха услед утицаја буке, што је у супротности са традиционалним чеповима за уши који подједнако блокирају сву буку и доводе до пригушења и изобличења звукова. Ови чепови користе механички процес који се зове динамичко пригушење (*Dynamic Attenuation*) и лиценцирану комбинацију филтера високих и ниских тонова са циљем смањења јачине звука али не и равнотеже и јасноће звукова.

DUBS Acoustic Filters су направљени да буду довољно издржљиви за свакодневну употребу. Састоје се од 17 различитих делова (слика 34) и направљени су од врхунских материла, пластике високе чврстоће, нерђајућег челика, полимерне пене и силикона, али уједно одржавајући приступачну цену, не много већу од традиционалних чепова за уши, и још увек су довољно мали да лако стају у џеп (слика 35). Направљени су да буду довољно издржљиви за свакодневну употребу.



Слика 34. Конструкција *DUBS Acoustic Filters-a*[19]



Слика 35. *DUBS Acoustic Filters* су веома лаки за ношење[19]

Sonic Defenders линија производа произвођача *SureFire™* развијена је да пружи кориснику заштиту слуха од високих тонова без утицаја на уобичајене звуке из околине и конверзацију. Постоји више различитих модела чепова код којих се *NRR* оцена редукције буке креће од 24 до 28 dB.

EP7 Sonic Defenders® Ultra (слика 36) чепови за уши за филтрирање звука са заменљивим врховима од меморијске пене (*Filtered Foam-Tipped Earplugs*) пружају кориснику заштиту слуха од штетних звукова док не утичу на његову способност да чује уобичајене звуке и нормалну конверзацију. Сам дизајн врхова од прилагодљиве меморијске пене обезбеђује висок ниво удобности и заштиту слуха, одговара већини особа и има *NRR* оцену редукције буке од 28 dB. Ови чепови пружају заштиту слуха од опасних нивоа буке, укључујући изненадну импулсну буку као што су пуцњи из ватреног

оружја, без ометања способности да се чују безбедни амбијентални звуци. Они омогућавају ефективну заштиту слуха од буке уз задржавање свести о околним звуковима и способности да се чују важни разговори или команде.



Слика 36. EP7 Sonic Defenders® Ultra у црној боји[20]

Звуци чији су нивои безбедни за слух се пропуштају до ушног канала док се потенцијално штетни нивои звука (преко 85 dB) смањују помоћу лиценцираног дизајна који обухвата посебне филтере за смањење буке. EP7 Sonic Defenders® Ultra укључују везане капице филтера које се могу уметнути за додану заштиту и блокирање звукова нижих нивоа, сличне онима који се могу чути у авиону, у ситуацијама када слушање амбијенталних звука и конверзације није од пресудног значаја.

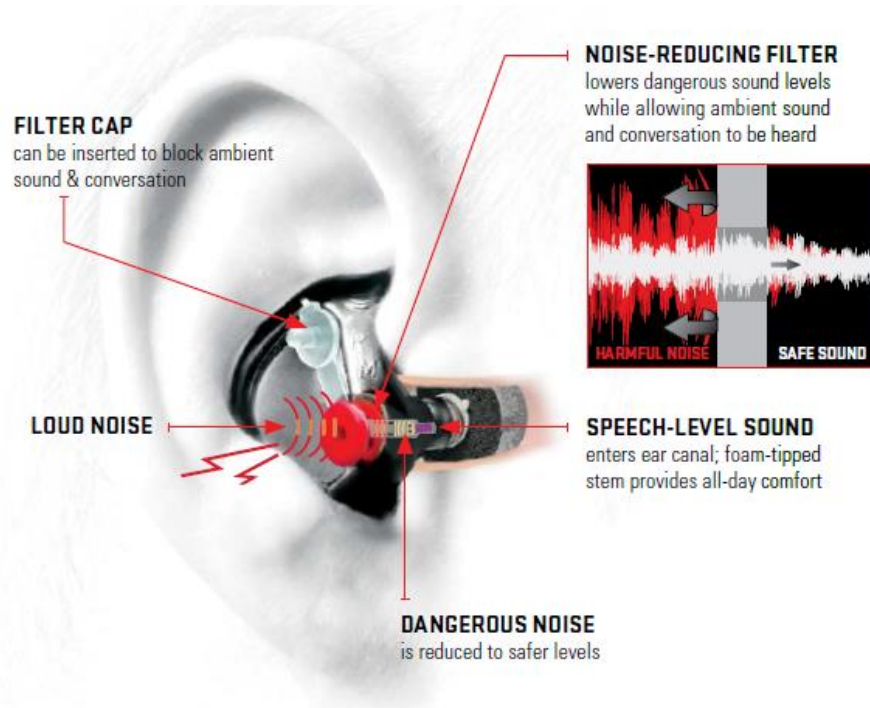


Слика 37. Два различита нивоа заштите[20]

Sonic Defenders Ultra чепови су направљени од меког али издржљивог, антиалергијског полимера који обезбеђује целодневну удобност и продужени век производа (до 6 и више месеци у зависности од употребе и старења о њему). Њихови патентирани EarLock® прстенови за задржавање закључавају чепове у месту, док меки врхови од прилагодљиве пене обезбеђују безбедно налагање у ушним каналима. Њихов

нископрофилни дизајн значи да се они могу безбедно носити у комбинацији са шлемом или маском, или током коришћења телефона или слушалица. Доступни су провидни као и у црној и наранџастој боји.

Филтери за смањење буке користе неелектричну технологију за смањење буке, уједно омогућавајући пропуштање звукова безбедних нивоа као што су конверзација и амбијентални звукови (слика 38). Ови филтери раде тако што гласни, потенцијално штетни звуци улазе у филтер, затим звучни таласи виши од 85 dB ударају у лукове унутар филтера. Ови звучни таласи се затим рефлектују од лукова и сужавајућих зидова и поништавају се напоље. Тако се звуци опасних нивоа смањују, а они безбедни пролазе даље. Што је звук гласнији то је већа количина буке која се поништава.



Слика 38. Принцип рада филтера за смањење буке[20]

Још неки од производа из *Sonic Defenders* линије производа произвођача *SureFire™* који су приказани на слици 39 су *EP3 Sonic Defenders®* и *EP8 Sonic Defenders® Cobalt*. *EP8 Sonic Defenders® Cobalt* се разликује од осталих по томе што је направљен од лиценцираног полимера са додатцима метала који се могу детектовати индустријским скенерима метала због чега је идеалан за примену у индустрији прераде хране, фармацеутској обради и сличним гранама индустрије.



Слика 39. EP3 Sonic Defenders® и EP8 Sonic Defenders® Cobalt[20]

Полу-уметнути чепићи се састоје од два чепића која се држе на крајевима ушног канала крутом траком за главу. Ови чепови представљају исплативу и ефикасну алтернативну опцију за заштиту слуха у условима буке средњих нивоа која је погодна за ношење током целог дана. Ова врста заштитних средстава се ставља и скида веома лако и брзо па је самим тим и веома погодна за особе које се често крећу у и ван бучних подручја. На наредној слици видимо неке примере ових чепова чија се SNR оцена заштите од буке креће од 22 до 27 dB.



Слика 40. Неки од модела полу-уметнутих чепова произвођача Moldex[21]

Заштитни антифони који се састоје од материјала који ублажава јачину звука и меких јастучића који одговарају пределу око уха и чврсте спољашње облоге. Они су заједно спојени траком за главу.

Заштитни антифони се користе свуда где је потребан виши ниво заштите од буке и у скоро свим гранама индустрије. У складу са различитим потребама у различитим гранама индустрије, произвођачи заштитне опреме, као што су 3M™, Howard Leight и Moldex, су развили велики број различитих антифона који задовољавају специјалне захтеве у виду боље уочљивости (Howard Leight Lightning® Hi-Visibility, 3M™ Peltor™ Hi-Viz), непроводљивости електричне енергије (3M™ E-A-R™, Howard Leight Viking™, Howard Leight Thunder®) и др.

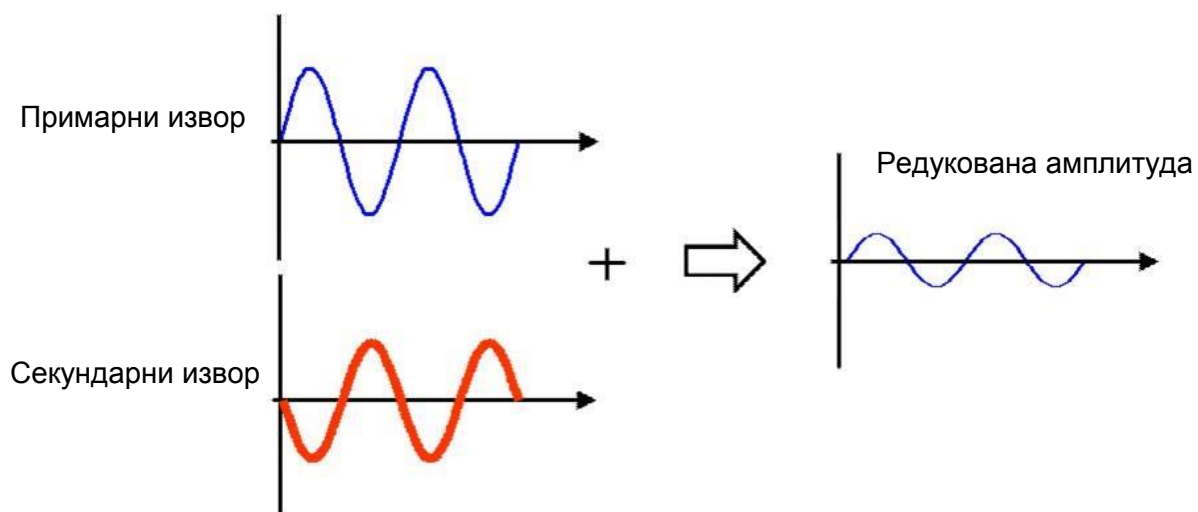


Слика 41. Лако уочљиви Howard Leight Lightning® Hi-Visibility модел антифона[22]



Слика 42. Примери антифона који не проводе електричну енергију[22]

У последњих неколико година развијена је технологија активне контроле буке (*Active Noise Control - ANC*) и имплементирана је у слушалице за поништавање буке. Слушалице за поништавање буке раде исто што и пасивне – сама њихова структура прави баријеру која блокира високофреквентне звучне таласе, али оне имају и додатни степен редукције буке тако што активно поништавају звучне таласе нижих фреквенција. Ове слушалице то постижу тако што креирају сопствени звучни талас који опонаша долазећу буку у сваком погледу осим једног: звучни таласи које праве слушалице су ван фазе за 180 степени у односу на долазеће звучне таласе.



Слика 43. Принцип рада активног поништавања буке[10]

Слушалице за поништавање буке поставиле су стандард за сузбијање нежељене буке користећи технологију активне контроле буке (*Active Noise Control* - ANC). Већина људи повезује слушалице за активно поништавање буке са онима које се користе у авионима или другим бучним окружењима да би смањили амбијенталну буку како би они могли да слушају музику или спавају у тишини. Активна контрола буке је била усвојена у случају одређеног броја средстава за заштиту слуха, али оне имају својствену ману при примени у веома бучним срединама где је потребна заштита слуха. Активна контрола буке умањује буку али такође и умањује корисникову способност да чује говор и остане свестан свога окружења. Стога су развијени и антифони за посебне случајеве где је неопходно корисницима обезбедити радио комуникацију и/или способност да чују нормалне, нешкодљиве звуке из околине укључујући људски говор и омогућити нормалну међусобну комуникацију. Компаније које се баве производњом средстава за личну заштиту слуха као што су *Howard Leight* и *Sensear* имају велики избор таквих антифона у свом асортиману.

Компанија *Sensear* је развила посебну технологију *SENS™* коју је применила на производе из своје *SM - Smart Headset* линије производа за обезбеђивање активне заштите слуха уз појачавање говора и задржавање ситуационе свести о околини. *SENS™* технологија изолије и појачава говор док истовремено смањује штетну позадинску буку па самим тим корисници могу чути говор и комуницирати међусобно, остати заштићени и свесни околине. Радници који користе производе из *SM - Smart Headset* линије производа компаније *Sensear* имају погодности у виду могућности комуникације лицем у лице са другим радницима док су истовремено заштићени од буке. Неке од њихових погодности су те што омогућавају разговор у срединама у којима бука достиже вредности и преко 95 dB, ограничавају буку у уху на вредност до 82 dB, пружају заштиту од свих типова буке и *NRR* оцена буке се креће од 25 до 31 dB у зависности од модела.

Sensear SM1xSR(IS) (Слика 44) је суштински безбедан модел слушалица који у екстремним условима, у којима се јављају високи тонови, омогућава двосмерну радио, блутут (*bluetooth*) и комуникацију од једног ка другом уређају. Корисници *SM1xSR(IS)* слушалица имају користи у виду јасне комуникације користећи њихове жичане или бежичне могућности док је њихов слух и даље заштићен и остају свесни звукова у свом окружењу. *SM1xSR(IS)* су суштински безбедне слушалице напредне генерације. Неке од карактеристика и могућности које ови производи нуде су: повезивање са безбедним двосмерним радио пријамницима помоћу блутута или кабла, повезивање са мобилним уређајима (таблетима/паметним телефонима) помоћу блутута, међусобну комуникацију са осталим корисницима уређаја (у радијусу од око 50 метара), разговор лицем у лице, *SENS™* технологија која појачаваја говор док смањује околну буку на безбедан ниво, омогућава кориснику да остане свестан звукова и опасности из окружења, робустан и лаган дизајн истовремено обезбеђујући *NRR* оцену заштите од буке до 31 dB.



Слика 44. Sensear SM1xSR(IS) модел слушалица[23]



Слика 45. Још неки од модела слушалица Sensear произвођача[23]

Howard Leight компанија која се бави развојем и производњом личних средстава за заштиту слуха је развила сопствени систем за паметну заштиту слуха, као и систем за праћење ефикасности личне заштите код радника (*VeriPRO*). Овај систем мери лични ниво пригушења звука за сваког појединачног радника, функционише са свим врстама чепова за уши, било ког произвођача, испуњава регулаторне захтеве о обезбеђивању почетног правилног налагања средстава за заштиту слуха. *VeriPRO* системом се врши провера ефикасности личне заштите и пружају идеални услове у погледу образовања.

Троделни процес *VeriPRO* система проверава налагање чепова за уши код сваког појединачног радника у великом опсегу различитих фреквенција, ова информација се затим чува у индивидуалним извештајима који су доступни руководиоцу безбедности.



Слика 46. Елементи троделног процеса *VeriPRO* система[23]

Howard Leight компанија производи разне типове радио и стерео антифона као и паметних антифона за управљање звуком. Радио и стерео антифони пружају заштиту од буке док омогућавају слушање музике на *AM/FM* радију или личном уређају за аудио репродукцију звука. Ови типови антифона, осим што пружају заштиту слуха, омогућавају радницима лакше обављање неких рутинских послова омогућавајући им да слушају музику и да буду правовремено обавештени преко радија о алармима и другим важним обавештењима.



Слика 47. Неки примери радио и стерео антифона произвођача *Howard Leight*[22]

Паметни антифони за управљање звуком произвођача *Howard Leight* користе патентиране пасивне и електронске технологије које блокирају продирање буке док корисницима омогућавају да природније чују гласове сарадника, аларме и друга упозорења. Ови антифони су произведени са циљем да умање амбијенталне звукове на безбедних 82 dB док истовремено омогућавају нормалну комуникацију појачавајући звуке говора.



Слика 48. Паметни антифони произвођача *Howard Leight*[22]

9.1.2. Избор одговарајућих средстава за заштиту слуха

Избор средства за заштиту слуха је личан и зависи од одређеног броја фактора који укључују ниво буке, удобност, као и прикладност тог заштитног средства како за радника тако и за његово окружење. Најбитније је да одабрано средство обезбеђује жељени ниво атенуације буке. Најпожељније је да, тамо где је неопходна употреба средстава за заштиту слуха, обезбедити избор неколико различитих типова средстава. Уколико је изложеност буци са прекидима, пожељно је користити заштитне антифоне јер константно уклањање и поновно уметање чепова за уши може бити неугодно.

Следећи фактори се морају узети у обзир приликом одабира средстава за заштиту слуха:

- ко ће носити опрему
- компатибилност са осталом заштитном опремом
- услови на радном месту, као што су температура, притисак и влажност ваздуха
- једноставност употребе и руковања
- утицај на корисникову способност комуникације

9.2. Оцена редукције буке и њена примена у одређивању нивоа заштите коју обезбеђује средство за заштиту од буке

9.2.1. Коефицијент редукције буке (*NRR – Noise reduction rating*)

Произвођачи средстава за заштиту од буке дају информације о способности смањења буке заштитног средства као бројчану величину која представља коефицијент редукције буке (*NRR*). *NRR* оцене се заснивају на редукцији буке која је добијена у лабораторијским условима.

Уколико информације о прикладности средстава нису доступне препоручује се умањење оцене редукције буке заштитних средстава (*NRR*) за фактор који одговара подацима из праксе према препоруци канадског националног института за безбедност и здравље на раду (*The National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH*):

- Заштитни антифони – одузети 25% од произвођачевог наведеног *NRR*-а

- Прилагодљиви чепићи за уши – одузети 50% од произвођачевог наведеног *NRR*-а
- Сви остали чепићи за ушит – одузети 70% од произвођачевог наведеног *NRR*-а

Тако да када је познат *A* - пондерисани ниво изложености буци, ефективна вредност *A* – пондерисаног нивоа буке (*effective A-weighted noise level ENL*) је:

$$ENL = \text{Ниво буке на радном месту у dB(A)} - (\text{умањени } NRR - 7)$$

9.2.2. Оцена јединственим бројем (*Single Number rating – SNR*)

Ова оцена (*SNR*) се користи у Европској унији и представља систем оцене једним бројем утврђен према међународним стандардом *ISO4869*. Тестови су спроведени у независним лабораторијама, где су се при тестирању користиле фреквенције које се незнатно разликују од оних коришћених код *NRR* методе за оцену заштите од буке. Поред опште оцене заштите, *SNR* даје додатну оцену заштитних средстава у погледу специфичних услова буке у којима ће бити коришћени – *H* за услове са буком високе фреквенције (*High-frequency noise level*), *M* за средње фреквенције (*Mid-frequency*) и *L* за ниске фреквенције (*Low-frequency*). Треба имати на уму да се *HML* (*High minus low*) ознака не односи на ниво буке већ на спектар буке. На пример, заштитно средство може бити означено са *SNR 26, H=32, M=23, L=14*. Што су процењене промене слабљења буке у зависности од спектра буке у средини у којој се користе заштитна средства.

9.3. Предности и мане чепића за уши и антифона

Постоје предности и мане које се односе на коришћење антифона или чепића за уши.

Чепићи за уши се могу масовно производити или појединачно обликовати да буду погодни за уво и могу се користити једнократно или виšekратно. Позитивна одлика је да су једноставни за коришћење, јефтинији од антифона и удобнији у условима високе температуре и на радним местима где је присутна већа количина влаге. Негативна страна је да пружају мању количину заштите од већине антифона и њихова употреба није препоручљива у условима са нивоима буке преко 105 *dB(A)*. Нису уочљиви као антифони и надзорници не могу брзо и лако уочити да ли их радници носе. Изузетно је важно да буду правилно уметнути да би пружили одговарајућу заштиту.

Антифони могу да варирају у погледу материјала и величине куполе као и снаге траке која делује на главу. Што су куполе дубље и теже, веће је умањење нискофреквентне буке које обезбеђује заштитно средство. Неопходно је да антифони налажу довољно чврсто, да пружају одговарајуће налагање, али не и превише чврсто како не би угрозили комфор особа које их носе. Позитивна страна антифона је да пружају већу заштиту од чепића, иако ово не важи увек. Лакши су за подешавање, углавном трајнији од чепића и имају заменљиве делове. Мане су им то што су доста скупљи од чепића и често мање удобнији од њих, нарочито у условима високих температура. У подручјима где су нивои буке веома високи, антифони и чепићи се могу носити заједно ради веће заштите.

Табела 12. Разлике између антифона и чепића за уши.

Поређење личних средстава за заштиту слуха	
Чепови за уши	Антифони
Предности: • мали и лаки за ношење • погодни за коришћење са другом опремом личне заштите (могу се носити заједно са антифонима) • удобнији за дугорочно ношење у топлим и влажним подручјима рада • погодни за употребу на скученим радним местима	Предности: • мање варијација слабљења међу корисницима • дизајнирани тако да једна величина одговара већини корисника • лако уочљиви и на већим удаљеностима што помаже праћењу њиховог коришћења • није их лако затурити или изгубити • могу бити ношени и при мањим инфекцијама ува
Мане • захтевају више времена за подешавање • тежи за уметање и уклањање • захтевају добро одржавање хигијене • могу иритирати ушни канал • лако их је загубити • теже се уочавају и теже је праћење њиховог коришћења	Мане • мање преносиви и тежи • неугоднији су за употребу са другим средствима личне заштитне опреме • неудобнији за ношење у топлим и влажним условима рада • непогодни су за употребу у ограниченом радном простору • може доћи до сметњи уз ношење заштитних или диоптријских наочара: ношење наочара резултује прекидањем заптивања између наушника и коже и резултује смањењем заштите слуха

9.4. Људски аспект при избору заштитних средстава

Људски аспект у вези личне заштите слуха је нарочито битан јер је једина корисна заштита она која се заправо и носи. Неке особе не прихватају одређене врсте заштитних средстава; сваки човек је различит и анатомија самог ува и ушног канала се може знатно разликовати од особе до особе.

Добра идеја за послодавца је да обезбеди већи избор заштитне опреме од које радник може одабрати одговарајућу, наравно имајући у виду одређене безбедносне или хигијенске разлоге због којих не обезбеђује одређену врсту опреме, односно није препоручљиво коришћење одређене опреме у случајевима високих нивоа буке, или ако је неадекватна из одређених хигијенских разлога. На пример, чепови за уши који се користе у производним погонима где их радници користе у току целог дана, често их уклањајући и поново постављају прљавим прстима, могу довести до уношења прљавштине и бактерија у уши и изазвати ушне инфекције.

Закључак у вези личне заштитне опреме је да је можда најбитнија ствар на коју би требало обратити пажњу јесу преференције радника. Уколико радницима не одговара

врста заштитног средства (на пример уколико је неудобна, не належе правилно или није практична за употребу), они је неће носити.

9.5. Утицај неношења средстава личне заштите на ниво заштите коју та опрема пружа

У циљу обезбеђивања што већег степена искоришћења, неопходно је носити заштитну опрему током целокупног временског интервала током којег је радник изложен буци. Уколико се заштитна опрема уклања макар само на кратко, степен заштите се значајно смањује. У наредној табели је приказана максимална заштита коју опрема обезбеђује при неkontинуалној примени идеално подешене „100%“ ефикасне заштитне опреме. На пример, уколико особа скине заштитну опрему на 5 минута током осмочасовног радног времена, максимална заштита ће бити 20 dB.

Табела. 13. Утицај неношења опреме на степен заштите

Максимална заштита обезбеђена неkontинуалном применом заштитне опреме	
Проценат радног времена током којег се користи	Максимална обезбеђена заштита
50 %	3
60 %	4
70 %	5
80 %	7
90 %	10
95 %	13
99 %	20
99,99 %	30

Заштитна опрема се мора користити током целог временског периода током којег је радник изложен дејству буке да би се добило потпуно искористићење опреме.

Како се треба бринути о својој заштитној опреми:

- Пратити упутства произвођача
- Редовно проверавати заштитну опрему на хабање
- Заменили јастучиће и чепове који су изгубили своја савитљива својства
- Заменили антифоне када трака за главу постане толико растегнута да не држи јастучиће са лакоћом уз главу.
- Растављати антифоне ради чишћења

-
- Прати антифоне са благим течним детерџентом у топлој води, а затим испрати у чистој топлој води. Осигурати да материјал који ублажава јачину звука не дође у контакт са водом.
 - Користити меку четку за уклањање масноће и прљавштине која може очврснути јастучиће
 - Исцедити вишак влаге из чепова и јастучића и оставити на чистој површини да се осуше на ваздуху. (Претходно обавезно проверити у препорукама произвођача да ли је препоручљиво прање чепића)

10. Испитивање утицаја средстава личне заштите

Уређај коришћен за мерење нивоа звука је мултифункционални уређај *ST-8820 4 in 1 Multifunction Environment Meter* (слика 49) који има могућност мерења више различитих параметара. Овај мултифункционални мерач пројектован је тако да комбинује функције фонометра (инструмент за мерење интензитета звука), луксметра (инструмент за мерење осветљења), мерача влажности ваздуха и мерача температуре. Овај мултифункционални мерни инструмент за мерење амбијенталних услова погодан је и за кућну и за професионалну употребу, омогућава мерење више различитих параметара и то:

- Температуре, у распону од -20 до 750°C
- Осветљења, до 2000 lux
- Влажности ваздуха, у распону од 35% до 95% релативне влажности ваздуха, и
- Интензитет звука, у распону од 35 до 130 dB



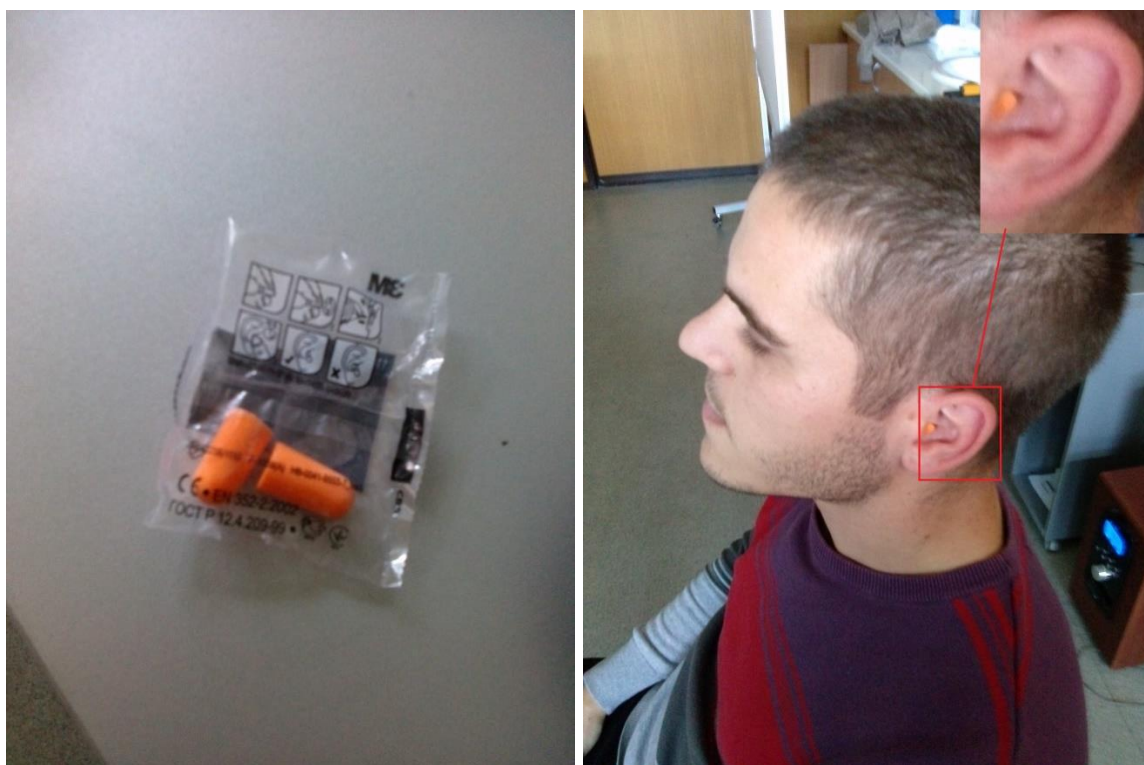
Слика 49. Мерни инструмент коришћен у експерименту[24]

Мерење буке уз помоћ овог мерног апарата се може извршити према линерној процени вредности интензитета звука *C* и према вредности која је прилагођена осетљивости људског органа слуха *A*. Уређај такође можемо подесити на 2 различита мерна опсега и то:

1. Нижи опсег (*LO*), 35-100 dB
2. Виши опсег (*HI*), 65-130 dB

Само мерење звука помоћу овог мерног инструмента се врши тако што се уређај упали и *Function* прекидач помери у положај за мерење интензитета звука (**dB**), а затим се микрофон окрене ка звучном извору у хоризонталном положају. Притиском дугмета *SELECT* отвара се мени где је могуће извршити избор мерног опсега. У зависности од промене интензитета звука мења се и вредност која се очитава на мерном инструменту, тако да је у зависности од врсте буке некада веома тешко очитати максималне вредности (нпр. максималне вредности код импулсне буке), за то постоји опција *MAX* чијим се активирањем на екрану очитава максимална измерена вредност у временском интервалу током којег је вршено мерење.

Приликом извођења овог експеримента испитивали смо утицај антифона и чепова на повећање прага толеранције испитаника на тонове високих фреквенција. Током експеримента испитанику су наизменично пуштани тонови високе фреквенције синусног облика (у распону од 1500 до 7500 Hz и то у корацима од по 1000 Hz). Након подешене фреквенције звук је постепено и лагано појачаван до нивоа када би бука постала неподношљива за испитаника, а затим је вредност која је измерена на мерном апарату, у том тренутку, уписивана у табелу. Прво је извршено контролно испитивање без било каквих заштитних средстава, а затим уз коришћење чепова (слика 50.) и антифона (слике 51 и 52). Тонове које смо користили су генерисани уз помоћ генератора звука на интернет адреси www.onlinetonegenerator.com. Тон коришћен у експерименту је репродукован на 5.1 Surround систему марке *Genius* ознаке *SW-HF5.1 6000* (слика 53.).



Слика 50. Чепови коришћени у експерименту



Слика 51. Антифони коришћени у експерименту



Слика 52. Испитаник са антифонима приликом извођења експеримента



Слика 53. Модел звучног система коришћеног при репродукцији звука[25]

Код коришћења било којих средстава за заштиту слуха неопходно је правилно коришћење и постављање заштитних средстава у циљу обезбеђивања максималне могуће заштите органа слуха.

Постављање чепа за уши се врши у три једноставна корака (слика 54). Прво је неопходно лагано, са три прста, увртети чеп и сабити га тако да се добије танки цилиндар, затим се врши његово уметање у ушни канал. Ради једноставнијег уметања чепа може се повући ушна шкољка нагоре и уназад (слика 2), а затим се чеп притисне и неопходно је да се задржи у том положају 20 – 30 секунди ради постизања правилног налегања приликом ширења чепа. Неопходно је водити рачуна приликом уклањања чепа да не дође до оштећења унутрашњих органа чула слуха. Приликом уклањања саветује се увртање чепа око своје осе ради лаганог разбијања заптивања, проузрокованог постављањем чепа и тек онда његовог уклањања из ушног канала.



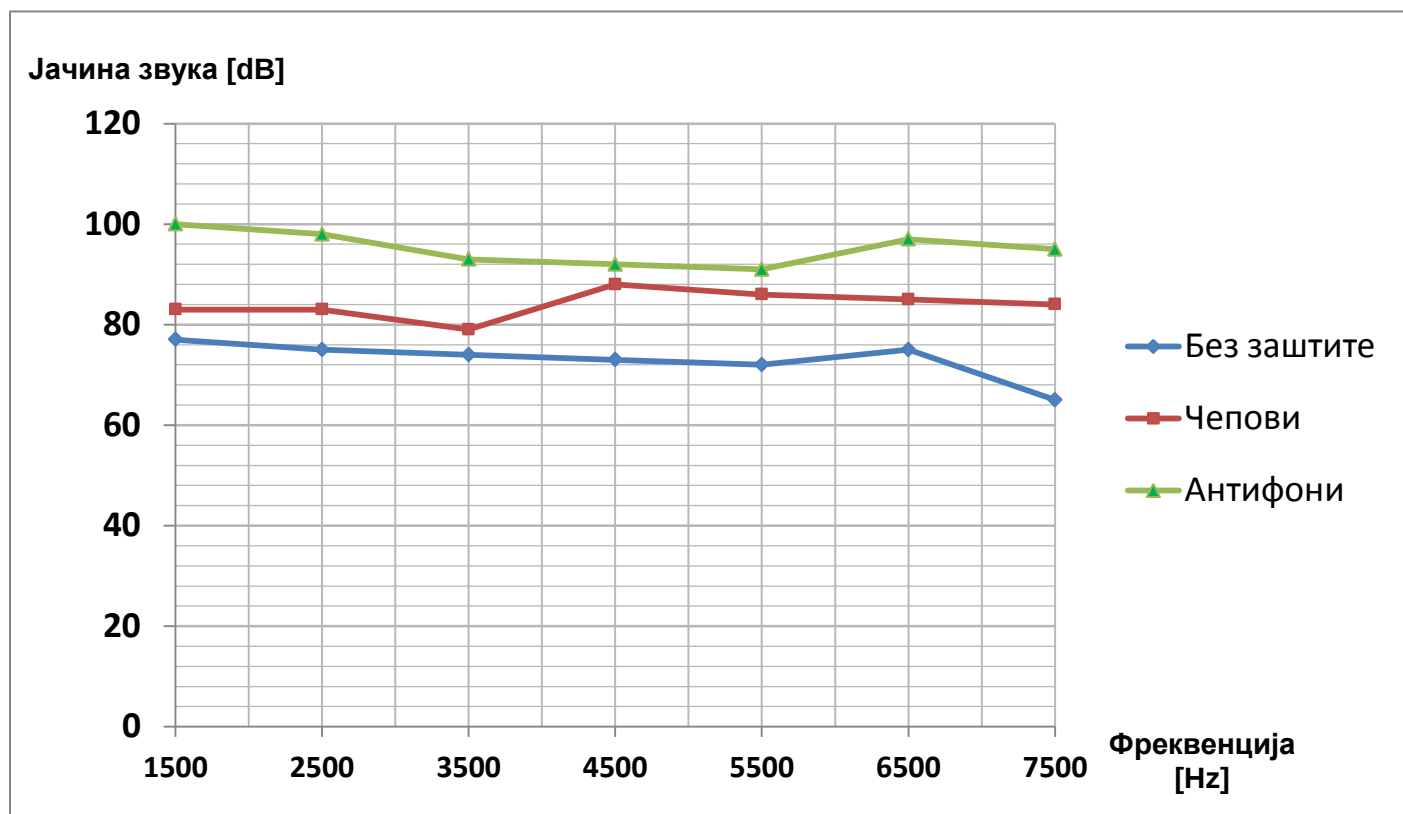
Слика 54. Постављање чепова у три корака[26]

Антифони или штитници за уши морају да обезбеде чврсто заптивање предела главе око ушне шкољке. Неопходно је подесити траку око главе да врши притисак на предео око ува како би се обезбедила што већа атенуација тј. слабљење буке. Особе са дужом косом треба да извуку косу да из предела испод јастучића у циљу постизања што

бољег заптивања. Не треба носити капе, оловке иза ува или било шта што може ослабити заптивање заштитног средства.

Табела 14. Резултати извршених испитивања

Фреквенција звука (Hz)		1500	2500	3500	4500	5500	6500	7500
Измерен неподношљив ниво звука (dB)	Без заштите	77	75	74	73	72	75	65
	Чепови	83	83	79	88	86	85	84
	Антифони	100	98	93	92	91	97	95



Слика 53. Графички приказ добијених резултата

Резултати добијени током експеримента показују да лична заштитна средства пружају атенуацију тј. умањење буке и до 30 dB, као и да антифони пружају знатно већи ниво заштите од буке у односу на чепове за уши. Битно је и напоменути да је субјективни осећај испитаника, без његовог увида у добијене резултате, био управо супротан, односно имао је осећај да чепови пружају знатно већи ниво заштите у односу на антифоне.

11. Закључак

У данашњем друштву све више се води рачуна о заштити од буке. Бука је веома озбиљно питање и један од најчешћих еколошких проблема. Она је такође један од водећих фактора ометања како при свакодневним активностима у домовима тако и при извођењу радних задатака на великом броју радних места, поготово у фабричким погонима, на градилиштима, у близини већих саобраћајница, итд. Са развојем технике и технологије дошло је и до повећања извора буке који су све присутнији у нашим животима, па се тако временом привикавамо на њих све више и све мање постајемо свесни последица које се јављају услед дугог излагања буци. Нервоза, несаница, стрес и смањени праг толеранције су само неки од проблема који се јављају, а којима ни не приписујемо неки значај, све док под утицајем буке не дође до скока крвног притиска, утицаја на вегетативни нервни систем и синдрома хроничног умора. Није, дакле, само реч о оштећењу слуха због буке, већ постоји неповољно дејство на цео организам, на психу и понашање човека.

На радном месту бука може да изазове пуно проблема који могу директно или индиректно утицати на радника, квалитет његовог рада и резултате које постиже. Растерећен радник, одморан и вољан да ради, лако ће пружити свој максимум и на тај начин повећати учинак својим залагањем на послу, док радник који је константно под стресом, мрзовољан и хронично уморан, не може да се похвали завидним резултатима, задовољством својим послом и радним местом, нити односом са колегама и надређенима. Овакавом утицају умногоме доприноси и бука, па је са аспекта здравствене заштите добро позабавити се њоме, а гледано и са економског аспекта, улагање у решавање проблема прекомерне буке је дугорочно, али и исплативо.

Најсигурнији метод спречавања губитка слуха на радном месту је смањење количине и јачине буке на њеном извору коришћењем инжењерских метода. Међутим, у одређеним условима радне средине, постоји веома мало могућности за смањење буке на њеном извору или је то готово немогуће постићи. На таквим радним местима радници користе лична заштитна средства која умањују количину буке која допире органа слуха.

Лична средства за заштиту слуха су генерално све оно што се носи у циљу смањења буке која допире до ува. Средства за заштиту слуха подложна су многим проблемима и по правилу се разматрају као последње средство у условима високе буке. Може се десити да средства за заштиту слуха не успеју да пруже адекватну заштиту у многим ситуацијама услед неудобности, неправилне употребе са другом заштитном опремом, пропадања и злоупотребе. Средства за заштиту слуха пружају највећу заштиту против буке високе фреквенције и мању протекцију од буке ниске фреквенције.

Чепови за уши и антифони треба да буду само последња мера за контролу буке. При њиховом избору треба узети у обзир извор буке, окружење и комфор онога ко их носи. Чепови за уши су ефикасни само до нивоа буке од 100 – 105 dBA, док антифони могу да пруже заштиту на вишим нивоима буке.

Коришћење средстава за личну заштиту слуха се препоручује уколико ниво буке прелази вредност од 85. Сама заштитна средства смањују количину изложености буци и умањују ризик од губитка слуха. Уколико је неопходно коришћење средстава за личну заштиту, онда је потребно покренути комплетан програм и низ мера са циљем очувања слуха. Програм очувања слуха обухвата процену буке, избор заштитних средстава, обуку и едукацију запослених, звучна тестирања, одржавање, инспекцију, вођење евиденције и оцену програма.

12. Литература

1. Д. Милорадовић, П. Тодоровић, „Физичке штетности – Бука на радном месту“, поглавље у монографији „Безбедност и заштита на раду – Књига 2“, БЗР Едукациони центар, Машински факултет у крагујевцу
2. <https://www.osha.gov/SLTC/noisehearingconservation/> (Септембар 2014.)
3. http://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/noise_measurement.html (Септембар 2014.)
4. http://www.vpts.edu.rs/saradnja/tempus/tempus158781_prezentacije.html (Септембар 2014.)
5. http://www.vts-zr.edu.rs/legacy/images/stories/Predmeti/ekologija/ekologija_buka_kao_zagadjivac_zivotne_sredine_28032011.pdf (Септембар 2014.)
6. <http://www.minrzs.gov.rs/cir/dokumenti/bezbednost-i-zdravlje-na-radu/uredbe-i-pravilnici> (Септембар 2014.)
7. <http://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg232.pdf> (Септембар 2014.)
8. <http://www.vasdoktor.com/medicina-rada/1352-buka> (Септембар 2014.)
9. http://apeironsrbija.edu.rs/icama2009/047_Cedomir%20Belic%20-%20Buka%20kao%20fizicki%20zagadjivac.pdf (Септембар 2014.)
10. <http://www.smartchoic hearingcenters.com/causes.html> (Септембар 2014.)
11. http://www.mfkv.kg.ac.rs/urbanoise/media/s1112_02_Merenje_buke.pdf (Септембар 2014.)
12. http://www.mfkv.kg.ac.rs/urbanoise/media/s1112_01_Opisivanje_buke.pdf (Септембар 2014.)
13. <http://www.allnoisecontrol.com/NoiseControlPanlWallPanels.cfm> (Септембар 2014.)
14. <http://www.kineticsnoise.com/industrial/enclosures.html> (Септембар 2014.)
15. <http://www.rai.hr/ProductDetails/249/pg/40/lang/EN/RAI---Acoustic-Partitions.wshtml> (Октобар 2014.)
16. http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/3M-PPE-Safety-Solutions/Personal-Protective-Equipment/Products/ (Октобар 2014.)
17. <http://www.jsp.co.uk/products/Hearing-Protection> (Октобар 2014.)
18. <http://www.dudeiwantthat.com/style/body/dubs-advanced-tech-earplugs.asp> (Октобар 2014.)
19. <http://www.blessthisstuff.com/stuff/technology/misc-gadgets/dubs-acoustic-filters/> (Октобар 2014.)
20. <http://www.surefire.com/tactical-equipment/hearing-protection.html> (Октобар 2014.)
21. <http://www.moldex-europe.com/en/products/> (Октобар 2014.)
22. <http://www.howardleight.com/> (Октобар 2014.)

-
23. <http://www.sensear.com/products/smart-noise-cancelling-communication-headsets>
(Октобар 2014.)
 24. <http://www.testequipmentdepot.com/reed/enviromental-meters/st-8820.htm> (Октобар 2014.)
 25. <http://www.geniusnet.com/Genius/wSite/> (Октобар 2014.)
 26. <http://www.hearos.com/index/instructions> (Октобар 2014.)