

Факултет инжењерских наука

Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Ергономија моторних возила

Број индекса: 376/2013

Јелена М. Ћурчић

Акустички модели човека

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Јованка Лукић, проф.-ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да анализира моделе човека који се користе за оцену акустичке удобности возила. Рад треба да садржи:

- анализу утицаја буке на човека
- анализу постојећих акустичких модела
- трендове даљег развоја модела

Препоручена литература:

[1] Hugo Fastl, Eberhard Zwicker: Psychoacoustics Facts and Models, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.

[2] Gerhard Mueller, Michael Moeser: Handbook of Engineering Acoustics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013

[3] Релевантни радови у овој области

Крагујевац, 07.04.2015

ментор:

Др Јованка Лукић, проф.

Резиме:

На основу изучавања разноврсне литературе и досадашњег стеченог знања, овај рад је обликован на следећи начин. Садржи историјски развој акустике, опис буке и њено деловање на људски организам. Испитани су различити утицаји буке возила, како спољашње тако и унутршње, њени извори и фреквенције, као и начини којим је могуће да се бука сведе на минимум. Приказана је промена нивоа буке из године у годину као и утицај буке на различите системе људског организма. Сам утицај звука на човека и његов приступ кроз ушну шкољку приказан је такође. Описани су различити акустички модели. Приказане су нове могућности метода мерења буке које се поистовећују са могућностима човечијег слуха.

Кључне речи: звук, бука, акустика, модел.

Abstract:

Based on the study of a variety of literature and previous acquired knowledge, this paper is designed as follows. It contains the historical development of acoustics, noise and description of its effect on the human body. The differing effects of noise of vehicles, both from the internal and external, its sources and frequency, as well as ways in which it is possible to reduce noise to a minimum. Shows the changes in noise levels from year to year and the impact of noise on the various systems of the human body. The impact of sound on man and his approach through the earlobe is shown also. Disclosed are various acoustic models. Displayed are the new features methods of measuring noise which are identified with the possibilities of man's hearing.

Keywords: sound, noise, acoustics, model.

Садржај:

Contents

Резиме	4
1. Увод.....	7
2. Историја акустике	8
3. Утицај буке на човека	10
3. 1. Звук.....	10
3. 2. Звук у инжењерству.....	14
4. Бука	16
4. 1. Спољашња бука возила.....	21
4. 2. Бука у путничком простору.....	22
Простирање звука у моторним возилима	22
4. 3. Значај акустичког комфора и примери побољшања	24
4.4. Свакодневна бука и могуће здравствене последице.....	29
5. Обрађене информације аудиориорног система	31
5.1. Ефекти буке на спавање.....	34
5. 2. Поремећај концентрације и перформансе.....	35
5.3. Зујање у ушима	36
6. Постојећи акустички модели	37
7. 1. Модел нелинераног унапред програмираног система.....	37
6. 2. Модел повратних информација	39
6. 3. Измене само-приметних звукова.....	40
6. 4. Самовидљива промена амплитуде.....	40
6. 5. Утицај делимичног маскирања на само-видљиве промене.....	41
6. 6. Модели самовидљивих промена.....	43
6. 7. Модел за само-приметно разликовање	43
6.8. Симулатор звука	49
6. 9. Рад уха при комплексној звучној побуди.....	52
6. 10. Временско маскирање	52

6. 11. Фреквенцијско маскирање	53
6. 12. Субјективни доживљај јачине сложених звукова – гласност.....	54
7. Акустика глава	56
7. 1. Модели и анализе прорачуна	58
7. 2. Унутрашњост акустичке главе.....	59
7. 3. Удобност за уши.....	64
8.Трендови даљег развоја	66
9. Закључак.....	67
10. Литература	68

1. Увод

Различите перформансе људског слуха као звучни анализатор остају без премца најпоузданији технички системи. У суштини, различите методе не могу се упоређивати са људским чулима у одређивању квалитета звука. Те аналитичке методе морају бити допуњене психомоделима, такође се у обзир узима и осећај људи. [27]

Нормалан начин да се развије математички модел звука јесте да погледамо однос између акустичних надражаја и осећаја. Често резултат је емпиријска формула која може да опише само неколико аспеката звука. Јер постоји много модела па је веома тешко добити идеју за комплетну обраду сигнала. Стога би било пожељно да имају један принцип од превасходног значаја, који покрива многе психоакустичке појаве. На основу физиологије уха, теоријски моделски систем је развијен са намером објашњавања и описивања психоакустичких ефекта и основне аудитивне сензације. Чуло слуха човека представља природни систем сензора који омогућава перцепцију звучних појава из околине. Тај систем се састоји од два ува који су просторно раздвојени главом као физичком препреком. Под утицајем физичких надражаја из окружења у свести слушаоца стварају се одговарајуће звучне сензације, односно звучне слике о изворима звука и њиховом положају у простору. У инжењерском смислу чуло слуха представља крајњу тачку, односно излаз сваког телекомуникационог система када се кроз њега преноси звучни сигнал. Заједно са вокалним трактом, чуло слуха чини систем за комуникацију људи помоћу звука као носиоца информација. По својим акустичким особинама чуло слуха је прилагођено пријему звука у ваздуху, јер је ваздух човеково природно окружење. Током еволуције уво је својом грађом прилагођено акустичкој импеданси ваздуха чиме је омогућен максимални одзив на звучну побуду. Иако је чуло слуха један сензорски систем, постоје битне разлике које га раздвајају од сензора који се користе у техници, као што су то на пример микрофони. Прво, чуло слуха региструје звук, али га и процесира, што значи анализира и на основу тога у свести ствара сложене звучне слике. Што је звук који се прима по свом физичком садржају сложенији, то је комплекснија звучна слика која настаје у свести слушаоца. Друго, у грађи чула слуха и његовим функцијама постоје неминовне индивидуалне разлике међу људима. Сви нумерички или графички показатељи којим се илуструју поједине особине и рад овог чула добијени су усредњавањем на основу особина великог броја особа. Због тога се подаци о чулу слуха морају схватати као статистички показатељ, а не као прецизни технички подаци. [27]

2. Историја акустике

Историја акустике почиње веома давно, још у античко доба. Постоје докази који датирају још из III века п. н. е. да су тада коришћени неки акустички феномени. Из тог старог века остало је забележено име архитекте и инжењера Витрувијуса. Неки акустички феномени тада примењени у древним грађевинама постали су славни и као такви предмет интресовања туриста данас. Познати су амфитеатри из тог времена и храмови са извесним акустичким ефектима. Тај период развоја неки аутори називају период када је акустика била уметност, а заснивала се на емпиријском знању. [25]

У неким крајевима света током средњег века уместо уметности то је прерасло у обично копирање, без стварних удубљивања у принципе и намене. Једна илустрација акустичког деловања у средњем веку на нашем тлу јесу акустички резонатори извађени из сводова старих српских цркава. Развој акустике од тих давних античких времена до данас може се поделити у неколико периода:

- период антике и средњег века (акустика као уметност),
- период од XVIII века до почетка XX века (акустика постаје наука),
- период од почетка XX века (увођење електричних уређаја и експеримената),
- период последњих тридесетак година (примена рачунара за моделирање и мерење). [25]

Основе савремене акустике постављене су почетком XVII века, када она полако постаје наука. Прво експериментално мерење брзине звука у ваздуху извршено је још 1635.године (на основу разлике у стицању бљеска и звука при пуцњу из топа). У том веку Њутн је поставио математичке основе простирања звука. У XVIII веку неким сегментима акустичке проблематике бавили су се и таква имена као што су Ојлер и Лагранж. Основе теоријске поставке звука у флуидима постављене су у 18. веку. Акустика постаје савремена инжењерска област почетком двадесетог века. За тај период везано је име американца Сабина, који је поставио теоријске основе акустике просторија. Све то претходило је појави електричних мерних инструмената. Са појавом микрофона, звучника и система за записивање сигнала развој акустике добио је нови замах, посебно изражен у другој половини XX века. Томе је највише допринео развој технологије, пре свега електротехнике која је омогућила коришћење модерне мерне опреме, сензора и претварача. [25]

Најновија епоха у историјском развоју акустике препознаје се протеклих тридесетак година захваљујући коришћењу рачунара. Они су омогућили два озбиљна помака: у области моделовања звучног поља и у области мерења. Чак и неке класичне области акустике које се већ дуго развијају, као што је акустика просторија, последњих две

деценије доживеле су велики помак захваљујући примени рачунара у мерењима. Довољно је напоменути да је теорија о квалитету концертних дворана доживела највећи прогрес тек у последњим деценијама. Шта више, веза између субјективних атрибута звучног поља и физичких карактеристика концертних сала још увек је отворена тема за истраживања. [25]

3. Утицај буке на човека

3. 1. Звук

Звук настаје као резултат механичких осцилација које се преносе кроз ваздух, са молекула на молекула, дејством међумолекулских сила.

Изазоване промене сталног атмосферског притиска називају се звучним или акустичким притиском. Звучни притисак представља променљиву компоненту укупног притиска.

$$p_u = p_{atm} + p \quad (1)$$

Компонента p је веома мала у односу на стални атмосферски притисак p_{atm} .

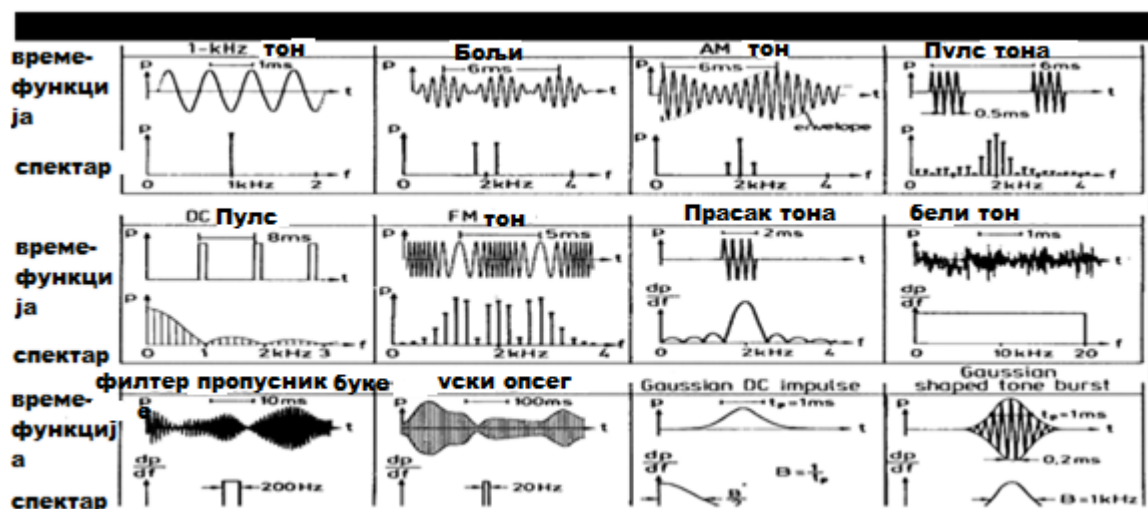
Најслабији звук који људско ухо може да чује ($p_0 \approx 20 \mu Pa$) је 5×10^9 пута мањи од атмосферског притиска.

Осећај јачине звука зависи од величине звучног притиска (изражава се у Pa). Граница испод које ухо више не може да осети постојање звука назива се прагом чујности (слика2). Праг чујности на 1000Hz износи $20 \mu Pa$ и узима се као нулти ниво звука. Максимални звучни притисак одговара граници бола (око 20 Pa). Однос ове две величине је већи од 10^6 па није поуздано узети притисак као мерило јачине звука.

Мерило јачине звука је ниво звучног притиска :

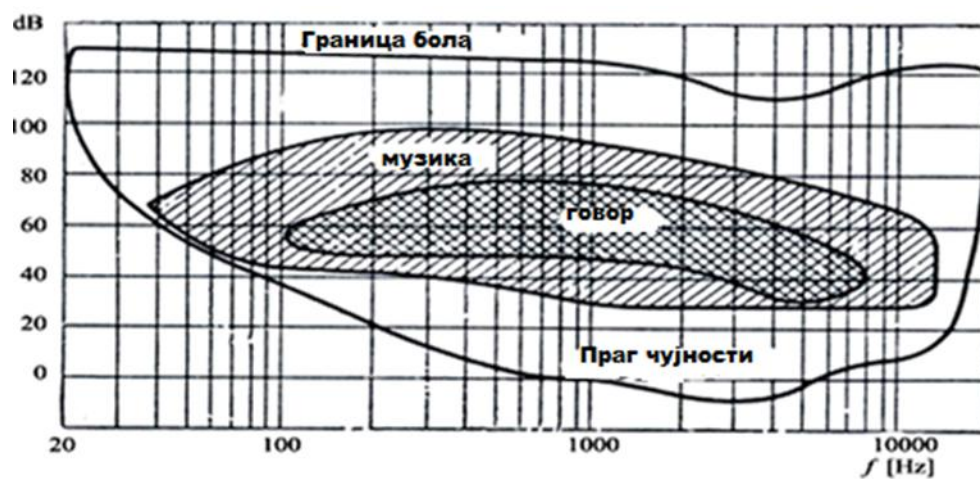
$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (2)$$

Ниво звучног притиска који се изражава у [dB]. [4]

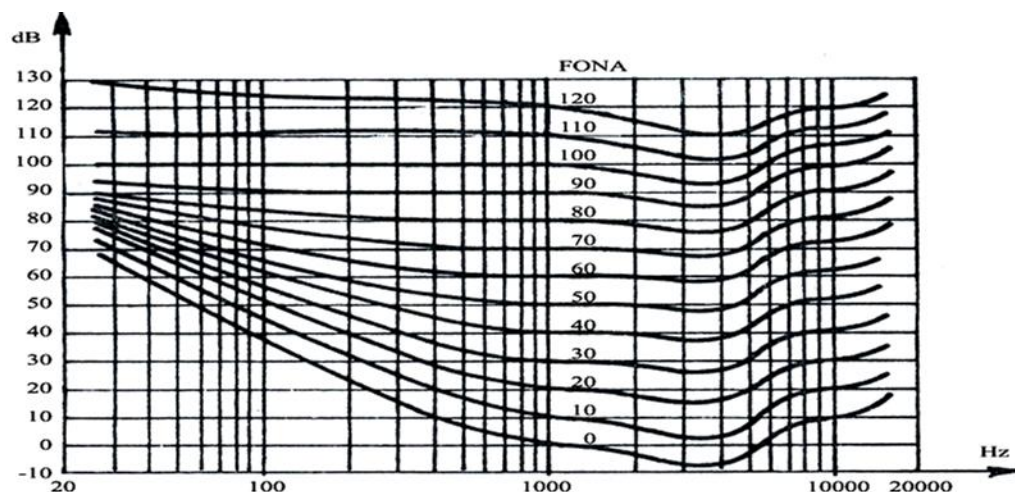


Слика 1. Зависност функције од времена и од фреквенције стимулуса [4]

$p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ - нулти ниво звука или праг чујности



Слика 2. Чујно подручје чула слуха [4]

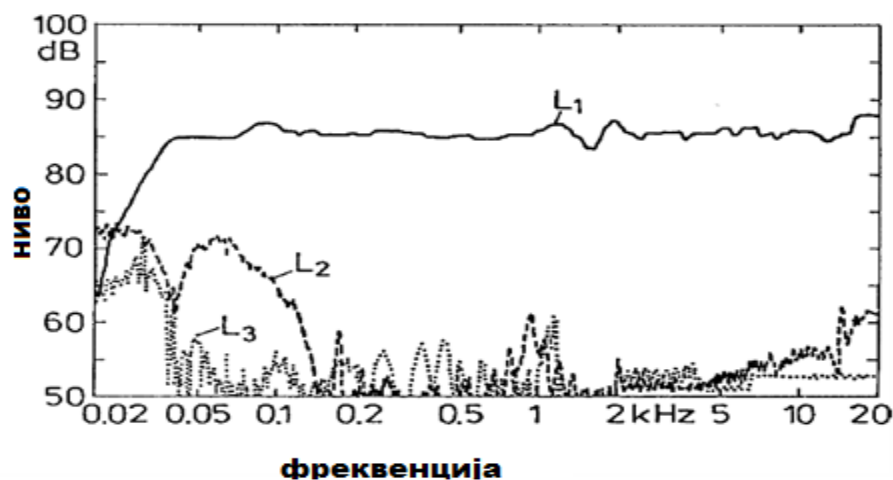


Слика 3. Субјективна јачина звука[4]

Акустика возила може да се окарактерише преко две појаве које обухватају :

- ✓ Акустичка удобност возила
- ✓ Квалитет звука

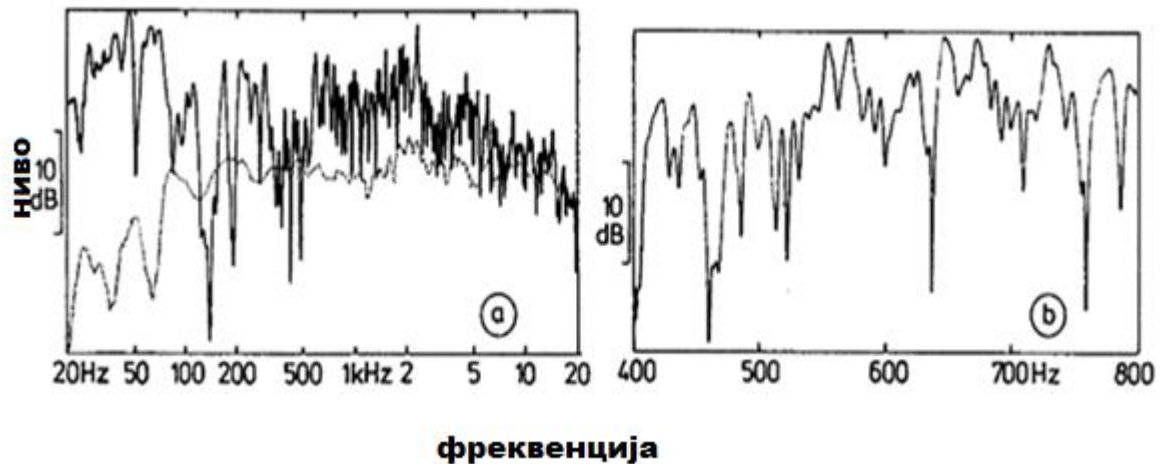
У психо-експериментима (експерименти у којима се посматра људска психа у односу на промену јачине звука, буке и сл. појава, односно реакција људи), трансформација електричних осцилација у звучне таласе се обично постиже звучницима или слушалицама. У оба случаја, фреквентни одзови нелинеарних изобличења произведени од сонде су од великог значаја.



Слика 4. Зависност нивоа звука од фреквенције [4]

Фреквенцијски одзив L1 звучности у анехоичној комори (реч је о соби која апсорбује 99,99% звука и држи Гинисов рекорд као најтише место на свету. Ако се задржи превише

у таквој соби човек почиње да халуцинира) у исти мах са одговорима удвостручених (квадратних) фреквенцијских одзива (L_2) и кубних (L_3) измењеним производима, који су горе на слици 4. приказани, померени за 20 dB (слике 4 и 5). [4]



Слика 5. Фреквенцијски одзив (а) од звучника у нормалној дневној соби (пуна) и у анехоичној комори (испрекидана), (б) показује, на проширеној фреквенцијској скали, одговор у дневној соби [4]

3. 2. Звук у инжењерству

Због ширине коју акустика као наука данас има, њој се људи могу бавити са врло различитим циљевима и задацима. Сужавајући то питање само на области инжењерства, може се рећи да акустика обухвата разне практичне аспекте примене звука. У тако схваћеном пољу деловања постоји три могућа инжењерска приступа акустици, односно три различита начина посматрања звучних појава:

- звук као средство комуникације,
- звук као еколошка тема и
- звук као алатка.

Сваки од ова три приступа има своје специфичности због којих је за бављење њима неопходна уска специјализација. Прво, звук представља средство комуникације. У том погледу за човека су свакако најзначајнији облици звучних појава говор и музика. Говор постоји захваљујући томе што човек има способност контролисаног стварања звука вокалним трактом, а истовремено има и сензор којим га може регистровати. Музика као специфичан облик комуникације отворила је област уметничког деловања применом звука као изражајног средства. У области телекомуникација постоје и околности када се звучни талас користи као носилац информација, на истим принципима као електромагнетни талас у телекомуникацијама. На пример, за такву функцију звучни талас се примењује у воденој средини у коју електромагнетни таласи по природи ствари не продиру. Прекомерна звучна енергија својим деловањем може угрозити здравље људи. Угрожавање звуком одвија се на два нивоа: физичким дејством на организам, услед чега се јављају неке органске промене, и психолошким дејством, јер звук може да врши узнемиравање. Физичко угрожавање организма одвија се кроз више "канална", и није ограничено само на функцију ува. Последице деловања звука могу се јављати на готово свим унутрашњим органима. Његово психолошко дејство произилази из процеса узнемиравања и ометања. Такво дејство звука није сразмерно његовој енергији, јер узнемиравање може настати и звуцима врло ниског енергетског нивоа (на пример, у тишини ноћи сан може бити поремећен и објективно врло тихим звуковима из суседства). У том смислу је уведен појам буке. По дефиницији, бука је сваки нежељени звук. Акценат дефиниције је на нежељености, јер из те чињенице проистиче појава узнемиравања. Због комплексног дејства на човека, звук је постао једна од незаобилазних тема у оквиру еколошког деловања у савременом друштву. Звучне појаве су једна од области инжењерског рада у екологији. Интересантно је да прекомерна енергија звука у окружењу, управо због његове механичке природе, осим човека може непосредно угрожавати и поједине осетљивије физичке механизме које карактерише релативно мала маса покретних делова (микромашине) или садрже релативно осетљиве електричне контакте. [16]

Добар пример за то су сателити чију функцију звук веома високе енергије, какав настаје приликом лансирања ракете носача, може угрозити. Због тога једна од процедура тестирања сателита у процесу производње подразумева контролисано излагање звуку веома високих интензитета. Звук може у различитим околностима бити и алатка, као активно или пасивно средство. Као активна алатка звук служи када треба да својом енергијом послужи за извршење неке радне операције или за извршавање неке посебне функције. Као пасивна алатка користи се када се врши регистровање звукова који спонтано настају, и када је циљ да се преко звука открије појава неког догађаја. Звук носи информације о извору која га је генерисао, па се његовом анализом добијају информације о процесу у коме је настао (такозвана дијагностика стања). [15]

4. Бука

Нема прецизне дефиниције буке, али, може се рећи да је то сваки нежељени звук или шум који изазива нелагодност и непријатност. То значи да свака звучна појава (зујање, ларма, шум, галама, лупа, говор и сл.) која омета рад или одмор представља буку. Бука је, нарочито последњих деценија, један од основних узрока комплексног оштећења здравља, нарочито у великим, густо насељеним градовима. Некада се сматрало да је дејство буке ограничено на орган слуха, али је данас на основу опсежних и систематских испитивања установљено да је њено дејство много сложеније.

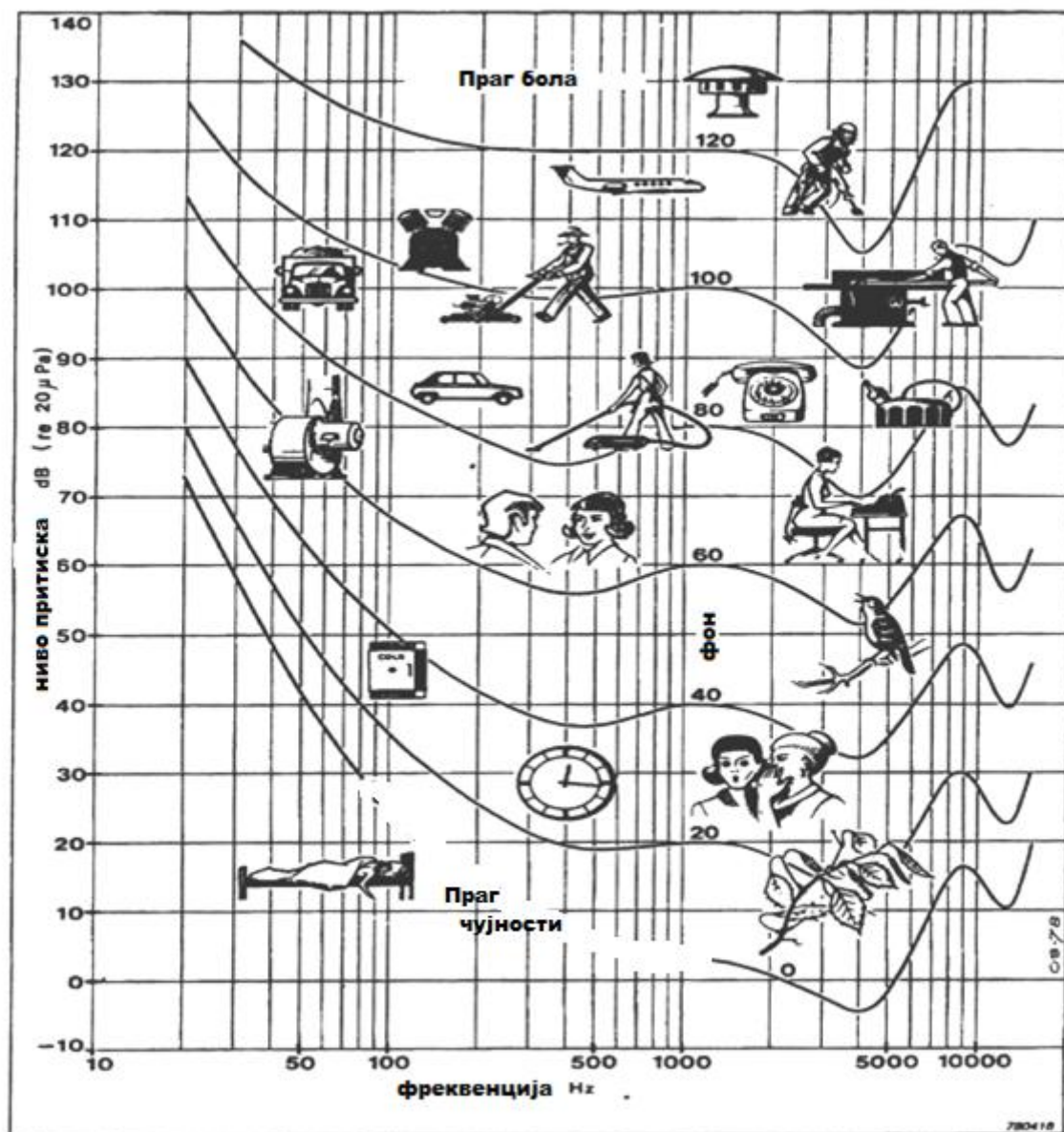
Озбиљна забринутост присуством буке резултирала је алармантним позивима науци и пракси у борби против ње. Проблеми су се са временом и развојем друштвених потреба увећавали. [7]

Под одређеним условима и релативно тихи звуци могу да представљају буку, тако да она садржи поред физичких и психолошке, тј. субјективне елементе. Оцена да ли је неки звук бука или није, сасвим је субјективна: оно што је једном човеку бука, то неком другом не мора бити, иако се ради о истом звуку. Њена основна карактеристика је ометајући фактор који зависи од више величина: јачине, расподеле тонова, ритма понављања и субјективне склоности особе. На пример, музика која се изводи у дискотеци преко звучника, иако на присутне не делује као нежељени звук, доводи непосредно до оштећења слуха у свим случајевима када се прекорачи одређена граница звучног нивоа.

Све бржи темпо живота у великим урбаним срединама представља многоструки извор буке, тиме она постаје прворазредно важан комунални проблем. Од настанка великих градова и појаве буке, помно се прати и изучава овај проблем и констатовано је да бука представља непредвидљиво опасно зло по здравље становништва, и то у више аспеката.

Најбоља акустичка средина за човека је нормалан разговор од 40 до 50 децибела (dB). Тотална тишина, упркос увређеном мишљењу, није тако корисна пошто чак и особа која нема тако добар слух у таквој ситуацији чује кретање крви кроз крвне судове и куцање властитог срца. Све што је гласније од нормалног разговора - за организам је оптерећење. [7]

Човечије ухо је способно да прими звуке од различитих извора буке (слика 6), као нпр. спектар звука од око 16 Hz до 20.000 Hz. Звучне таласе мање од 16 Hz човек не чује и они се региструју као потреси – вибрације (спадају у област инфра звука). Фреквенције веће од 20.000 Hz наше ухо такође не региструје; оне се називају ултразвуком, који има данас врло високу примену у медицини.



Слика 6. Област осетљивости човечијег уха [7]

На слици 6 доња крива представља ниво јачине најслабијег чистог тона који може да се чује. Из дијаграма се види да је Кортијев орган најосетљивији на учесталости између 2.000 – 3.000 Hz где је граница чујности око ~5 dB. При јачинама, изнад ових које одговарају горњој кривој, која се назива “граница бола” а то је 120 dB, осећај се мења од нормалног слушног осећаја у осећај нелагодности, чак и бола (120 – 130 dB). Висина горње криве приближно је константна и на нивоу око 120 dB за све фреквенције. Сваки чисти тон, који се може чути, може се представити тачком која лежи негде на површини између ових двеју крива. Само 1% становништва има тако ниску границу чујности, као што је доња крива.

50% становништва може чути тон учесталости од 2500 Hz када је ниво јачине буке око 8 dB и 90% када је ниво 20 dB. [12]

Субјективна јачина звука се односи на осећај који се ствара у свести оног који је изложен дејству звука – буке. Овај појам је чисто субјективан, насупрот објективној количини јачине звука и не може се непосредно мерити апаратима. Наравно да субјективна јачина расте са објективном јачином, али нема међу њима једноставне линеарне релације. Чисти тонови, исте јачине, не производе обавезно једнако исто субјективно доживљавање – субјективну јачину звука. [11]

За дејство на човека веома је значајна и висина звука. Она се односи на ону особину осећаја звука која омогућава човеку да класификује један тон као “висок” или “низак”. Исто као и субјективна јачина и висина звука је субјективна количина и не може се мерити инструментима. За чист тон константне јачине, и висина постаје све виша са повећањем учесталости, али висина чистог тона константне учесталости постаје нижа, када се повећава ниво јачине.

Индустријска бука од преко 90 dB наноси оштећење слуха. С обзиром на велики број радних места где влада бука преко 90 dB, озледе слуха су врло честе, те представљају велики социјално – медицински проблем изазивајући трајна оштећења и инвалидност. [12]

Раухова испитивања из 1966. се заснивају на биохемијским променама на нервним влакнима, синапсама и самој слушној ћелији. Под дејством буке долази до инхибиције ацетил – холина, која доводи до оштећења у самим слушним ћелијама и нервним влакнима. У случају акутне трауме настаје с једне стране и поремећај васкуларизације и одвијање метаболичких процеса у условима хипоксије, а са друге стране постоји функционална преоптерећеност са инхибицијом стварања ацетихолина.[12]

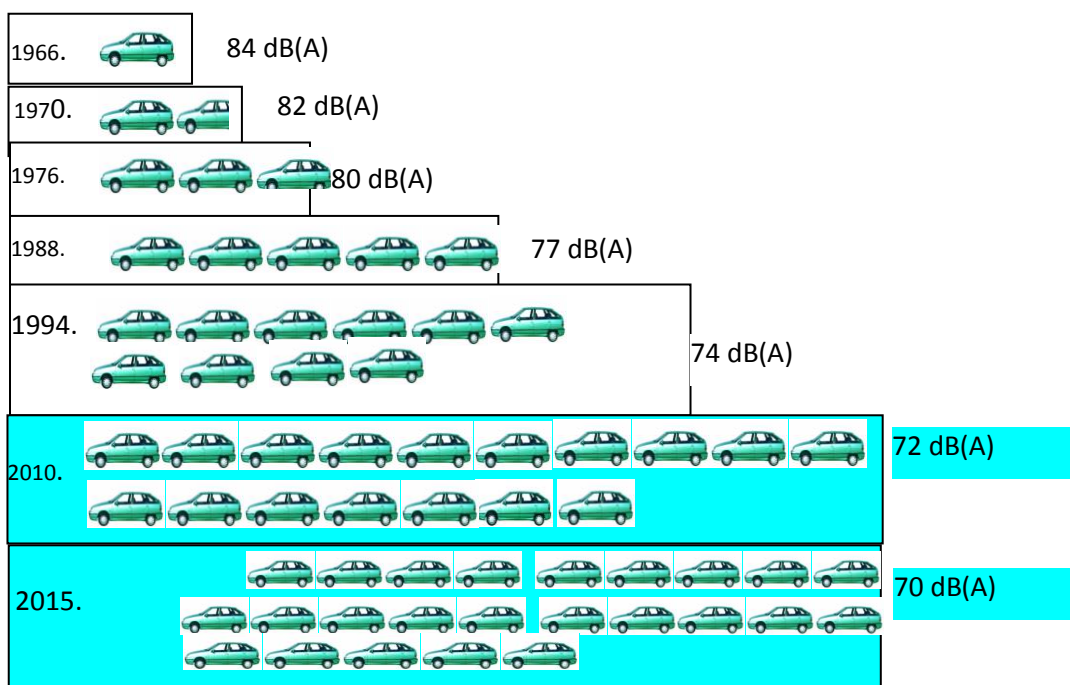
Поред трансмисионе улоге, средње ухо има за задатак да штити унутрашње ухо од прејаких звукова, тј. од оних који прелазе његов капацитет. Примећено је да средње ухо може да спречи трансмитовање унутрашњем уху таласа притиска које имају време раста веће од 200 m/sec. , путем активности Еустахијове трубе, или чак ломљењем добоша, када се под високим интензитетом звучних таласа, мали мишићи у средњем уху могу да контрахују, изазивајући крутост оскуларног ланца и на тај начин смањење трансмисије звука. [12]

Екстраурални ефекти буке се манифестују у облику психичких и вегетативних поремећаја, што доводи до напетости и негативних емоција и ометања нормалне дневне ритмике. Они су једнаки за индустријску и комуналну буку, само зависе првенствено од интензитета, спектра буке и дужине експозиције. Код особе навикнуте на индустријску буку, имамо на почетку експозиције на буку јачине од преко 90 dB велике субјективне сметње: неугодан осећај у глави и јак притисак у ушима. После 15-20 минута ове тегобе се замењују

неодређеним тегобама, општим замором, интелектуалном отупеношћу. По престанку деловања буке, субјективне сметње су изражене у виду тинитуса, који представља надражај Кохиле, а извесни звуци виших фреквенција се чују другачије (звонце, телефон). Постоји више теорија о оштећењу слуха. По Ларсеновој теорији пропустљиви део базиларне мембране, која одговара фреквенцијама од 4.096 Hz може да се објасни релативном нестабилношћу њене васкуларизације. [2]

У анализи буке треба ићи од места настајања, извора буке, па до места које она својим дејством угрожава. Преко 40 година политика буке у животној средини ЕУ се суштински базира на законодавству које даје максимално дозвољене нивое спољашње буке за возила у тренутку производње. Захваљујући томе, али и развоју технологије добијено је значајно смањење буке индивидуалних извора. На пример, спољашња бука путничких аутомобила је снижена за више од 10 пута од 1966. године до данас.

Најављене границе спољашње буке за 2015. годину од 70dB. Значи да ће тада око 24 возила давати исти ниво буке као једно возило из 1966. године (слика 7). У делу истраживања спољашње буке возила, Европска Унија је веома активна желећи да преполови саобраћајну буку до 2020. год. [2]



Слика7. Промена границе нивоа спољашње буке путничког возила са 4 точка [2]

Акустика у путничком простору данас је једна од важнијих перформанси возила. Она није санкционисана прописима. Протеклих година постајала је све важнија због све присутнијих захтева купаца за већим комфором. Са друге стране модерна возила се

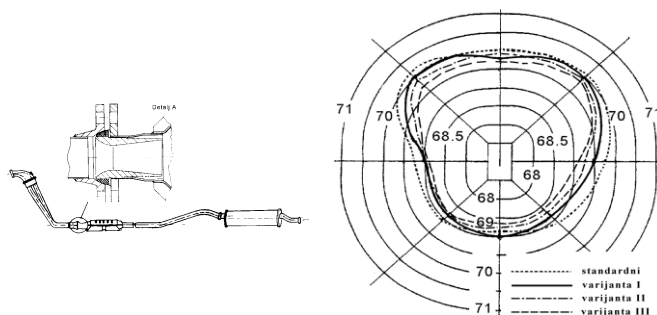
дизајнирају и израђују у циљу постизања економичније потрошње горива, што захтева смањење тежине. Насупрот томе, постоје и захтеви за постизање веће снаге мотора, па треба наћи компромис између акустичког комфора снаге и тежине. Ако се још дода и фактор цене онда је проблем акустике врло комплексан. Захтеви који се односе на акустику у возилу су се протеклих година знатно повећали. Ово је условљено порастом захтева корисника, а с друге стране развојем и трендовима аутомобилске технике, при чему аспект смањења тежине и трошкова игра све већу улогу. Треба пазити и на законске прописе у погледу задовољења могућности рециклаже. [5]

Комфор возила који се односи на звук је све значајнији. Уз пораст комплексности укупног система возила пред истраживачима акустике налази се мноштво различитих модела возила и то након све краћих циклуса развоја. Сваки модел треба да се разликује на тржишту преко обележја "акустички комфор". Да је акустички комфор у последње време и на тржишту добило све већи значај, показује и његово све веће присуство у рекламном делу. У будућности треба рачунати на још већу сензибилизацију корисника у погледу акустичког комфора и одатле резултирајуће консеквенце за произвођаче. [2]

4. 1. Спољашња бука возила

На основу новијих резултата истраживања, зна се да је људима од буке мука чак иако се они на које бука утиче уопште не жале на висок ниво буке. Зато смањење буке од друмског саобраћаја узима специјално значење. Европска Унија је веома активна у овом делу истраживања, желећи да преполови саобраћајну буку до 2020. год. Код возила већ у раној фази развојног процеса треба размишљати о спољашњој буци која треба да се разбије на појединачне изворе. То захтева модификације на појединачним компонентама возила. За саобраћајну буку, од посебног интереса је спољашња бука возила у различитим ситуацијама, као што је спољашња бука: при празном ходу возила, возила које стоји или мимоилазна бука која је санкционисана одговарајућим законским прописима. Са све већим степеном моторизације, упркос смањивању дозвољених граница, утицај буке на околину је порастао. Већина предузетих мера на возилу биле су: у јединици мотор-мењач, на уисном и издувном систему. Даље снижавање спољашње буке путничких аутомобила биће могуће само ако се узме у обзир бука од интеракције између пнеуматика и пута. [3]

Код снижавања буке издувног система техничку посебност претставља: сужење попречног пресека издувне пред-цеви катализатора. За испитивања је изведено три врсте млазница и то: са унутрашњим пречником од I-34mm, II-30mm i III-26 mm. [3]



Слика 8. Нивои спољашње буке возила које мирује са различитим пречницима издувне цеви [3]

На слици 8 су дати резултати испитивања и изглед издувног система. Издувни систем са издувном цеви пречника 26 mm даје за 0,5 dB (A) нижи ниво од система без издувне цеви. Допринос снижавању буке возила је видљив, али се одустало од уградње ове издувне цеви јер су други параметри (пад снаге и поскупљење производње) биле од пресудног значаја.

4. 2. Бука у путничком простору

Простирање звука у моторним возилима

Преношење звука од мотора, точкова и других извора звука у простор за путнике, односно, кабине возача до скоро је само експериментално испитивано. На основу многих досадашњих практичних искустава, урађен је прорачун нивоа звука у простору за путнике код возила. Простор за путнике преко каросерије је повезан са погонским агрегатом, системом за ослањање и точковима. Један део буке, која се јавља услед рада погонског агрегата и кретања возила, преноси се директно од наведених извора преко отвора за каблове, сајле, система за грејање и проветравање. Укупна бука у путничком простору може се описати помоћу једначине :

$$L_2 = L_1 - R - 10 \log \frac{A}{S} + 10 \log \left[1 + \frac{W^2}{p_1^2} \sum p_n^2 \right] \quad (3)$$

Где су:

L_1 - ниво буке у моторском простору,

L_2 - ниво буке у простору за путнике,

R - коефицијент изолације звука,

A - еквивалентна апсорпциона површина,

S - површина која емитује буку,

W - однос импеданси преградног зида,

p_1 - звучни притисак у моторском простору и

p_n - звучни притисак удела отвора.

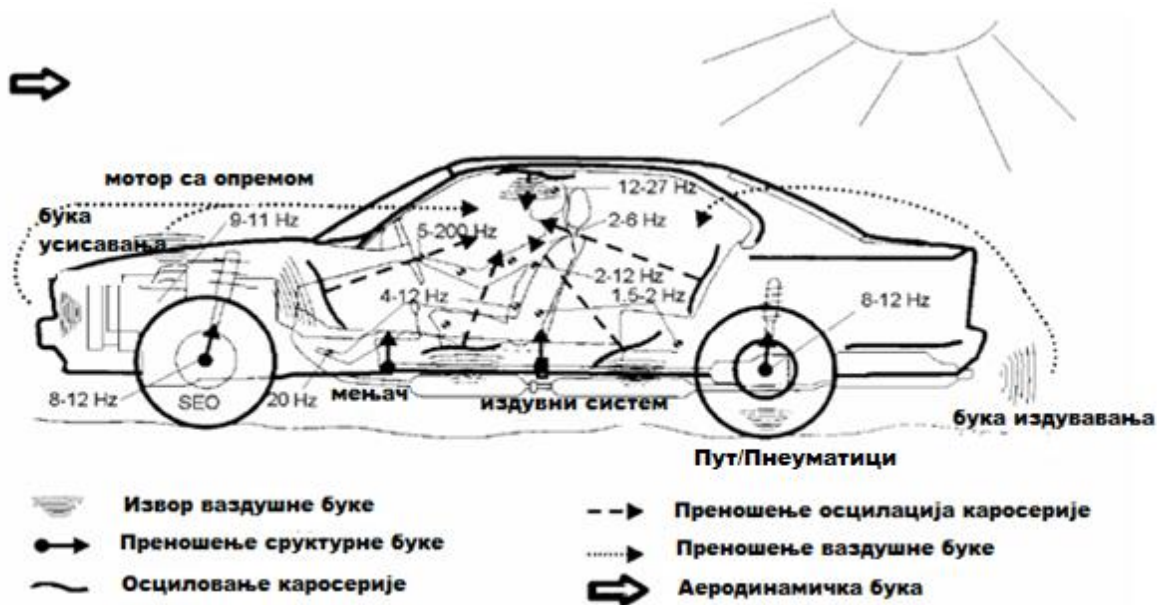
Ова једначина важи у фреквентном подручју изнад граничне фреквенције и не узима у обзир амплитудно-фазну зависност звучног нивоа у простору за путнике у области ниских фреквенција.

Гранична фреквенција се израчунава према:

$$f_g = \frac{1000}{\sqrt[3]{V}} \quad (4)$$

Где је V - запремина простора за путнике

Компоненте буке пренете преко отвора ограничавају ефекат изолационих материјала искоришћених у снижавању ваздушне буке.



Слика 9. Извори буке на аутомобилу [10]

Борба са буком тражи различите захвате на изворима и путевима њеног преноса. Акустичари знају да у аутомобилу практично не постоје делови који су "неутрални" за звук и вибрације, али могу да врше утицај једни на друге. Извори буке на аутомобилу се могу видети на слици 9. [10]

Дакле најпре треба при пројектовању и конструкцији искључивати могуће изворе сметњи као примарну меру, све док је то могуће. Ипак очигледно је да између онога што би акустичари у идеалном случају елиминисали као извор сметњи, и онога што је тражено са конструкцијског гледишта, постоји често конфликт, код кога акустика мора да попусти.

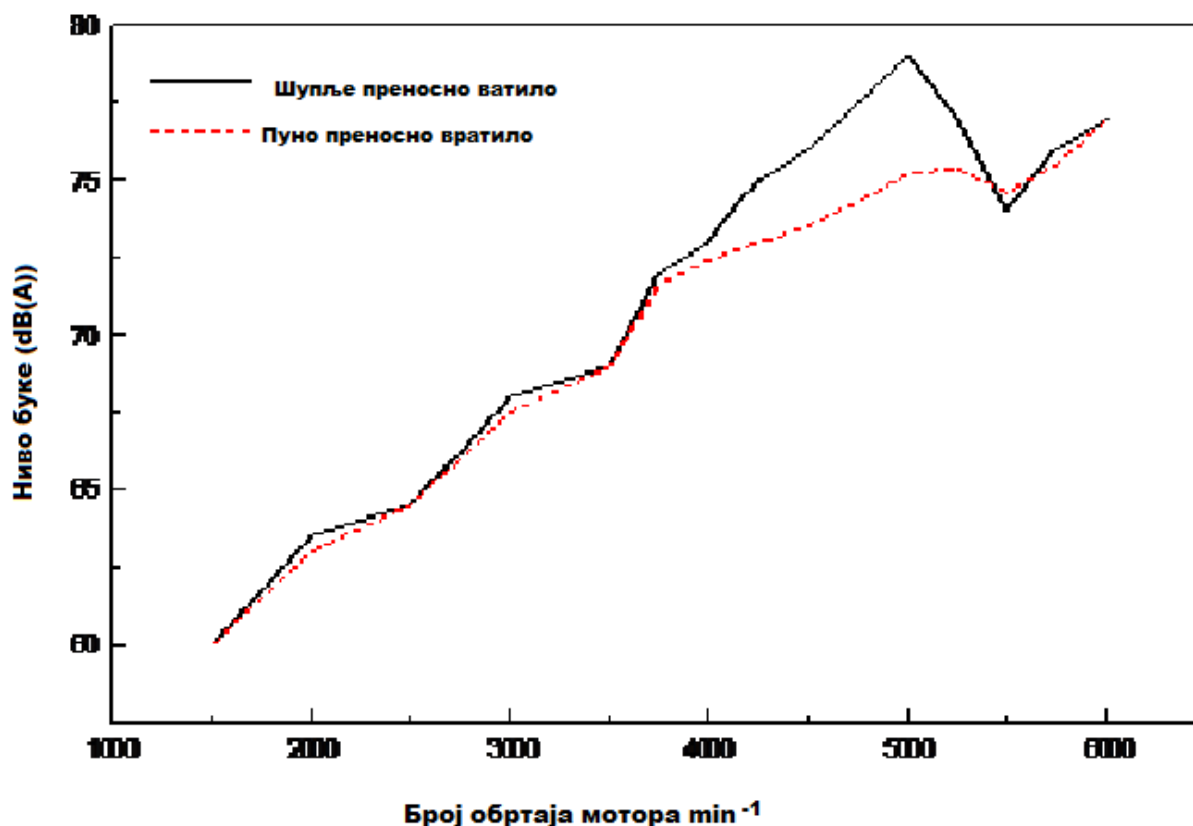
4. 3. Значај акустичког комфора и примери побољшања

Уз пораст комплексности "укупног система возила" за истраживаче акустике се појавило, још некада присутно, мноштво најразличитијих уређених типова возила, односно модела, и то након све краћих циклуса развоја (истраживања) у све мањим размацима. Они неизоставно треба свесно да се разликују на тржишту преко обележја "комфор звука" и да се такође дају разликовати у процењивању њиховог квалитета акустике. Да је при том обележје "комфор звука" у последње време и на тржишту добило све већи значај показује се посебно и на основу растућег рекламног искоришћавања, у оквиру процена корисничких тестова од стране произвођача возила до постигнутих истицања обележја комфора акустике, одмах поред или при увођењу нових модела возила на тржиште. [1]

Акустички комфор се објективно вреднује преко параметара:

нивоа буке, фреквентне анализе нивоа, индекса артикулације и гласности, што је данас недовољно. Све више се акустички комфор возила вреднује субјективно, па се тако прилагођава захтевима корисника- купца.

Пример смањења унутрашње буке возила, постиже се снижавањем буке на месту њеног настајања, нпр. код преносног вратила. При овим испитивањима констатовано је да при броју обртаја мотора од 5000 min^{-1} у другом степену преноса, десно преносно вратило ступа у резонанцу те се јавља нагли скок нивоа буке. На промену резонантне учесталости дела утиче маса дела и његова крутост, па је је десно преносно вратило у том смислу реконструисано. Након реконструкције извршена су накнадна мерења унутрашње буке на путу која су упоређивана са предходним. Реконструкцијом десног преносног вратила снижен је ниво буке за 8 dB (A) на 5000 min^{-1} . На слици 10 приказана је унутрашња бука возила код уха бозача у II степен преноса шупљег у пуног преносног вратила. [1]



Слика 10. Унутрашња бука возила II степен преноса, код уха возача [1]

Уградњом реконструисаног преносног вратила битно је поправљен акустички комфор возила што поред снижења нивоа буке, потврђује и дијаграм терцно-октавне анализе. Снижење нивоа буке постигнуто је и на фреквенцијама у области горива што директно утиче на побољшавање акустичког комфора возила а то је и био крајни циљ.

Бука у путничком простору изазвана је низом побуда и путева преноса. Пренос акустичке и вибрационе енергије између примарних извора и путничког простора настаје истовремено кроз чврсту и ваздушну средину. Везе мотора и мењача, углавном су главни путеви преноса вибрација. Постоје и други важни путеви преноса као што су нпр: преносна вратила, везе издувних система и друго. Сви заједно набројани примарни извори стварају звучно поље усредсређено око зидова који окружују путнички простор као резонатор. Сви зидови који окружују путнички простор и сви акустички отвори који се у њима налазе доприносе преносу буке кроз ваздушну средину. Под утицајем ефеката спољашњег звучног поља и побуђивања пренешеног кроз чврсту средину; површине које окружују путнички простор почињу да вибрирају и постају секундарни извори. За звучну изолацију аутомобила од буке пренешене ваздушним путем, обично је најважнији утицај акустичке обраде преградног зида. Са акустичког гледишта овде треба узети у обзир познате акустичке мере као што је апсорпција звука, пригушивање звука и пригушивање механичког шума. Акустички комфор се дефинише преко: нивоа буке, фреквентних спектра, гласности и индекса артикулације. Овде је показан утицај промене материјала као и акустичке обраде преградног зида на параметре акустичког комфора. [2]

Акустички извори возила:

- ✓ Погонски агрегат
- ✓ Каросерија
- ✓ Трансмисија
- ✓ Контакт пут пнеуматик
- ✓ Кочиони систем
- ✓ Управљачки систем
- ✓ ...[9]

По дефиницији, бука је сваки нежељени звук. То значи да свака звучна појава (зујање, ларма, шум, галама, лупа, говор и сл.) која омета рад или одмор представља буку.

Бука је, нарочито последњих деценија, један од основних узрока комплексног оштећења здравља, нарочито у великим, густо насељеним градовима. Некада се сматрало да је дејство буке ограничено на орган слуха, али је данас на основу опсежних и систематских испитивања установљено да је њено дејство много сложеније. Под одређеним условима и релативно тихи звуци могу да представљају буку, тако да она садржи поред физичких и психолошке, тј. субјективне елементе.

Оцена да ли је неки звук бука или није, сасвим је субјективна: оно што је једном човеку бука, то неком другом не мора бити, иако се ради о истом звуку. Њена основна карактеристика је ометајући фактор који зависи од више величина: јачине, расподеле тонова, ритма понављања и субјективне склоности особе. На пример, музика која се изводи у дискотеци преко звучника, иако на присутне не делује као нежељени звук, доводи непоосредно до оштећења слуха у свим случајевима када се прекорачи одређена граница звучног нивоа.

Најнепријатнија, а тиме и најважнија карактеристика буке је интензитет (слика12). Када потиче од једног извора произвољног интензитета и удаљености може се мерити и са више или мање успеха ублажити. Ако су узроци буке више извора (саобраћајна бука) отежано је мерење интензитета, локација извора и спектрални садржај. При оваквим случајевима борба је такоређи безнадежна. Све бржи темпо живота у великим урбаним срединама представља многоструки извор буке, тиме она постаје прворазредно важан комунални проблем. Од настанка великих градова и појаве буке, прати се и изучава овај проблем и констатовано је да бука представља непредвидљиво опасно зло по здравље становништва, и то у више аспеката. Најбоља акустичка средина за човека је нормалан разговор од 40 до 50 децибела (dB). Све што је гласније од нормалног разговора - за организам је оптерећење.

Различити утицаји буке на људско здравље

Бука се убраја међу физичке агенсе штетне по здравље, за чије се неповољно дејство зна одавно. Нивои буке присутни у комуналној средини нису довољно високи да би довели до оштећења слуха, али изазивају читав низ неаудитивних ефеката. Нарочито су осетљива на буку деца млађа од 6 година и особе старије од 65 година. Жене су нешто осетљивије од мушкараца у средњој животној доби. Бука се убраја у стресогене факторе и утиче на поремећај психосоматског здравља (слика 11), јер изазива специфичне и неспецифичне ефекте, као и сталне и привремене реакције организма. Ефектима комуналне буке данас се у свету поклања све више пажње јер до сада спроведена истраживања показују да она отежава настанак сна, чини сан површним, скраћује фазу дубоког сна и доводи до буђења, што се манифестује променом расположења, осећањем умора, невољношћу, падом радне способности, главобољом и појачаном нервозом. За добар сан било би пожељно да бука не прелази 30 dB.



Слика 11. Утицај буке на здравље [9]

Психофизиолошки ефекти

Некада се сматрало да је дејство буке ограничено на орган слуха али данас је доказано да је њено дејство много сложеније. Бука озбиљно погађа нервни систем, и то како централни, тако и вегетативни, а преко овога утиче на срце, крвне судове, крвни притисак, дигестивни тракт и многе друге органе и ткива, у којима изазива промене и функционалне сметње. Неаудитивни 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, напетост и депресија. Агресивно понашање јавља се тек код буке изнад 80 dB. 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. [6]

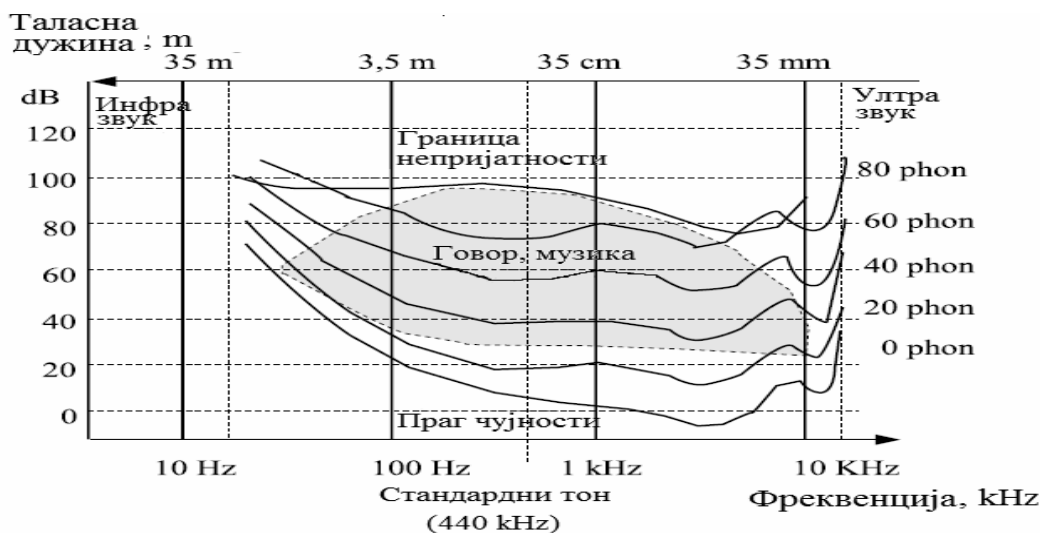
Ефекти буке након буђења испољавају се у виду умора, промена у расположењу, слабије субјективно процењеном квалитету сна, паду радне способности и дугорочним психосоцијалним и здравственим ефектима.

Психолошки симптоми

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 (поред 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, а неурозе су данас међу водећим обољењима, посебно у градским срединама. [6]

Промене у понашању

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 непријатељског понашања што доводи до дехуманизације у међуљудским односима. [6]



Слика 12. Криве једнаке гласности [9]

4.4. Свакодневна бука и могуће здравствене последице

Бука којој су људи свакодневно изложени, околинска, комунална бука, бука боравишних простора, један је од највећих проблема ужег, људског окружења, посебно у градским подручјима. Бука је нежељен, односно прегласан, неугодан или неочекиван звук; смеша звукова различитих својстава која може бити трајна, испрекидана и ударна, променљиве јачине, различитог трајања и временске расподеле. Главни извори у спољашњем простору су промет, индустрија, грађевински и јавни радови, рекреација, спорт и забава, а у затвореном боравишном простору извори буке су уз зграду везани сервисни уређаји, кухињски апарати и бука из суседства. Нивои буке присутни у комуналној средини нису довољно високи да би довели до оштећења слуха, али изазивају читав низ неаудитивних ефеката. Нарочито су осетљива на буку деца млађа од 6 година и особе старије од 65 година, жене су нешто осетљивије од мушкараца у средњој животној доби. Бука се убраја у стресогене факторе и утиче на поремећај психосоматског здравља, јер изазива специфичне и неспецифичне ефекте, као и сталне и привремене реакције организма. [6]

Бука је субјективни појам одређен физикалним значењима звука и физиолошким својствима уха и људског организма. Звук је према физичкој дефиницији гитање таласа у еластичном медију. За процену буке основне су физичке величине: звучни притисак у паскалима (Pa), звучни интензитет у ватима на квадратни метар (W/m^2), фреквенција у херцима (Hz) и звучне јачна у децибелима (dB). Ухо је најсложенији и најсавршенији биолошко-механички уређај у телу који у здравом стању одговара на фреквенције од 16 Hz до 20 kHz. Слух се може ограничити и интензитетном (0 dB - праг чујности; 130 dB- праг бола) и фреквентном распону (16 dB – 20 000 dB; најучесталији пренос звука је у подручју 1 000 Hz - 4 000 Hz). Унутар тог слушног подручја налази се подручје за говор интензитета 20 dB (шапат) до 80 dB (викање) и фреквенције 300 Hz до 3 000 Hz., јачина од 40 dB је граница социјалног контакта. Величина нивоа звучног притиска разликује се од осећаја буке. Велики напредак у одређивању показатеља буке који је размеран последицама деловања буке на људски организам је примена вредноване јачине звучног притиска (у децибелима), примерене одговору слушног органа на звук. То се постиже корекцијским филтерима у звукомерима. И за друге облике буке (импулс, тон, временски распоред) укључују се одређена прилагођења, па добијамо оцену буке. Многе вредности и кривуље су тек апроксимација слушног одговора на звук. Еквивалентна непрекидна висина звука има исти садржај енергије и исти утицај на слушни орган као променљива јачина звука. Разлике у индивидуалној осетљивости на буку су велике, на доживљај буке делује став према буци, недостатак надзора над буком, пренос неугодне информације, амбијентална бука и јачине звучног притиска у околини одговарају распону од 35 dB до 110 dB. [6]

Звук	Ниво јачине звука (dB)
Праг чујности	0
Шапат	20
Говор	50
Стан у прометној улици	60
Прометна улица	70
Аутомобил	70
Камион	90
Авион	120
Праг бола	130

Табела 1. Различити ниво звука

5. Обрађене информације аудитиорног система

Оно што се генерално назива ухо је, у ствари, спољашње ухо приказано шематски на слици 13, заједно са средњим и унутрашњим ухом (слика14). Спољашња функција уха је да прикупи звук, и да ту енергију пренесе кроз спољашњи ушни канала до добоша уха. Спољашњи ушни канал поседује две предности: прва, да штити бубањ ухо и средње ухо од оштећења и друга, да омогућава унутрашњем уху да се позиционира у непосредној близини мозга, чиме се смањује дужина нерава и резултати за краће време путују. Спољашњи ушни канал врши снажан утицај на фреквенције органа слуха. Делује као отворена цев у дужини од око 2 cm одговара на четвртине таласне дужине фреквенција око 4 kHz. То је спољашњи ушни канал који је одговоран за високу осетљивост нашег органа слуха у овом фреквентном опсегу. Међутим, ова висока осетљивост је такође разлог за високу осетљивост на оштећења у региону око 4 kHz. [6]

Да би се избегли велики губици енергије кроз рефлексију, трансформација звука се обавља у средњем уху.



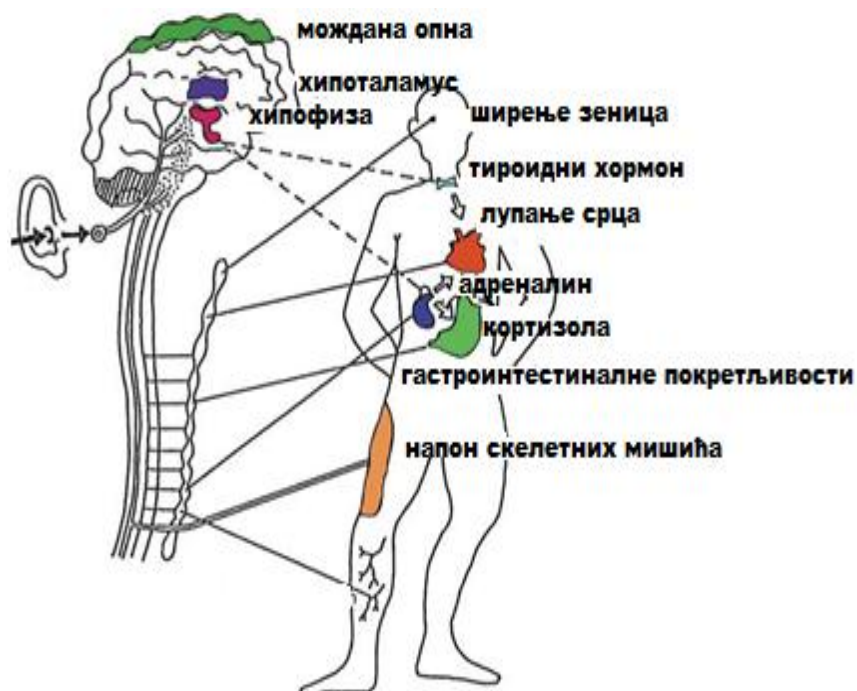
Слика 13. Шематски приказ пресека човечијег уха



Слика 14. Шематски приказ пресека унутрашњег уха [6]

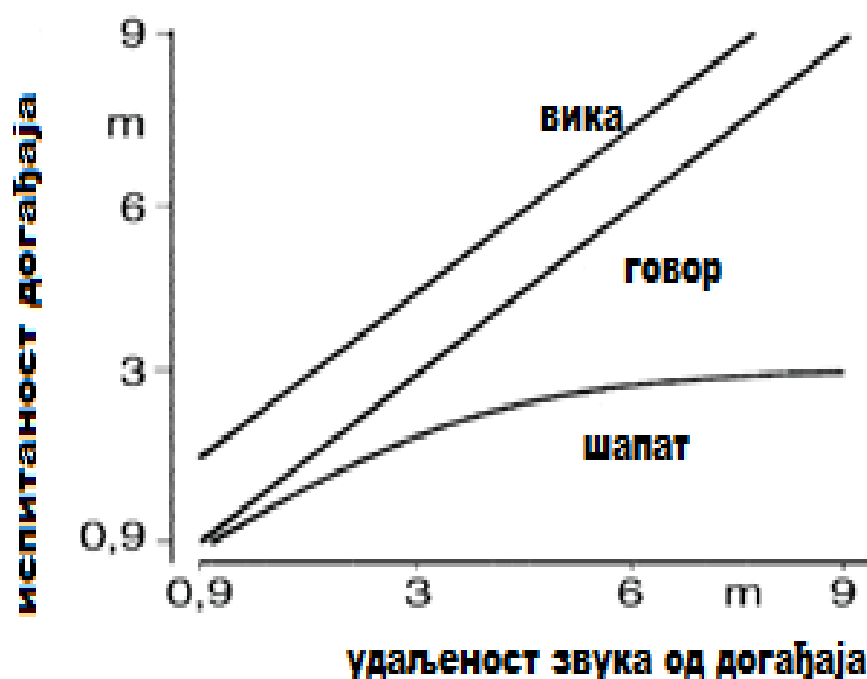
Коштани лабиринт је смештен у сунђерастом ткиву слепоочне пирамиде, унутра и нешто иза бубне дупље, од које је одвојен њеним веома танким унутрашњим, или лабиринтним зидом. Идући од спреда уназад и од унутра ка упоље коштани лабиринт се састоји из: 1) пула(*cochea*), 2) треа (*vestibulum*) и 3) коштаних полукружних канала (*canales semicirculares ossei*). Сва три дела су уствари коштане шупљиме које међусобно комуницирају, а чији су зидови дебели 1-2 mm. [6]

Један од начина да се истражује моћ опажања у одређеним ситуацијама је да будемо психолошки оријентисани односно приступачни.



Слика 15. Последице буке на човечије тело [6]

Висок ниво звука може да оштети слух и изазове опасна неуровегетативна реаговања (слика15). Међутим, бука није само физички стимуланс, већ и индивидуално искуство. Неадекватно реаговање може да доведе до поремећаја. Регулаторни поремећаји могу се сматрати нежељеним ефектима који чине прелазну фазу од здравља до болести. Укључујући и индивидуално искуство које узима у обзир чињеницу да је људски организам биопсихосоцијална јединица. Сходно томе, здравствени поремећаји су не само физички доказиве повреде, већ и функционални поремећаји психолошких и биолошких процеса који се не могу одвојити једно од другог. Препреке за психобиолошке регулације често се манифестују као соматоформни поремећаји. Они укључују одраз поремећаја у менталним и психолошким процесима (као што су стрес, хронични, бучни ефекат, потиснуте емоције, трајни бес, беспомоћност, очај и немогућности за борбу против проблема), и физичке тегобе (као што су главобоље, клонулост, дигестивни поремећаји, кардиоваскуларни поремећаји, астма, поремећаји коже). [6]



Слика 16. Локализација као функција удаљености од извора звука у различитим начинима артикулације [6]

5.1.Ефекти буке на спавање

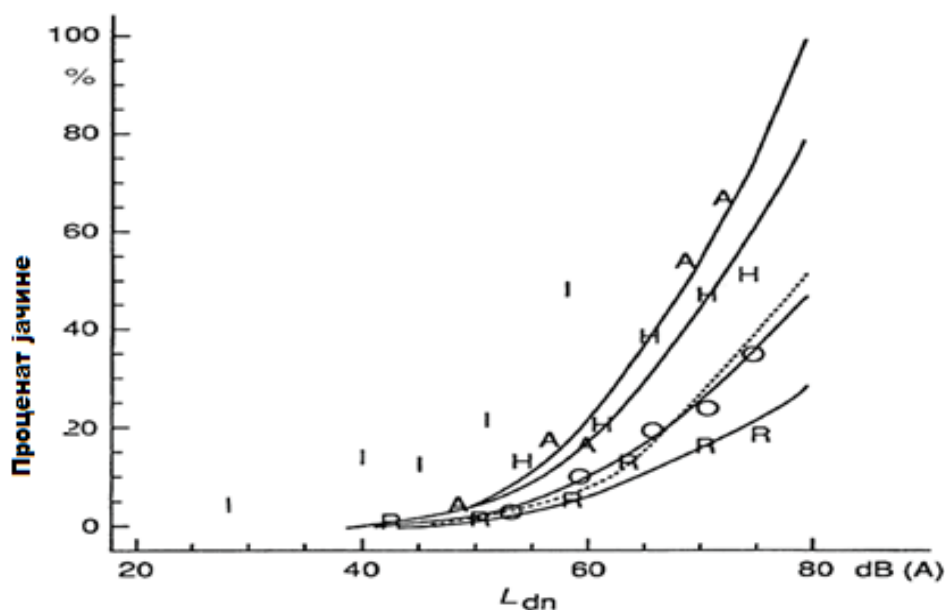
Поремећај сна је веома озбиљан проблем. Поремећаји изазвани буком могу се поделити на примарне и секундарне реакције, у складу са временом када су настали. Примарне реакције обухватају кратке промене током сна или чак буђења, подељеност сна, различите фазе спавања, скраћења укупног трајања сна, повећано трајање периода високе тензије мишића (покрета), али и вегетативних реакција, као што су промене у дисању, лучење хормона и периферна циркулација.

Секундарне реакције су оштећења на опште стање након буђења. Ово укључује оштећење физичког и психичког стања, перформансе и концентрацију. Поремећај сна изазван буком је повезан са променама у физиолошким факторима. [7]

5. 2. Поремећај концентрације и перформасе

У многим ситуацијама где смо изложени буци погоршава се наше стање, које се изражава као напор јер нам је потребна додатна концентрација. Међутим, многе студије су показале да бука може имати утицај тек након одређеног периода излагања, што се може манифестовати у виду повећања умора или смањену способност да се концентрише на рад. Бука може бити манифестована као трајни поремећај у људској меморији као и испољавање негативних емоција као што су страх, несигурност, бес, неизвесност, осећај ограничења слободе, раздражљивост и сл. Веза између узнемиравања и изложеност буци су уско повезани и један од кључних светских проблема. Ова интензивна односно континуирана сметња може бити дефинисана као здравствени ризик.

Однос истраживања саобраћајне буке (ваздушног, друског и железничког саобраћаја) и стационарних извора буке (индустрија), изложености и последица приказан је на следећој слици (слика 17).



Слика 17. Однос истраживања саобраћајне буке и стационарних извора буке, изложеност и последица [6]

Бука утиче на неуроендокрини систем или директно преко процеса централног нервног система или индиректно кроз субјективно искуство (поремећај, сметња). Ово за узврат утиче на метаболичке процесе и регулисање битних телесних функција. То укључује крвни притисак, срчана активност, крви липида (холестерол, триглицериди, слободних масних киселина) ниво глукозе у крви и хемостатски фактори који утичу на проток крви (плазма вискозитет). Пошто бука ствара ризик за кардиоваскуларне болести, иста се сматра као спољашњи фактор ризика за развој високог крвног притиска и срчаних обољења, укључујући артериосклерозу и инфаркт миокард. [6]

5. 3. Зујање у ушима

Велики број људи пати од зујања у ушима (тинитуса), што ствара изузетно непријатан осећај код човека. Према истраживањима „Националног Америчког Центра за Здравствену Статистику“, појаву зујања у ушима је претрпело 32% становништва, укључујући и 2% са посебним оштећењима. Слични подаци су прикупљени и у Великој Британији.

Зујање у ушима се јавља као последица прекомерном акустичном излагању, што доводи до оштећења слуха или привременог губитка слуха. Узроци тинитуса нису у потпуности познати а објашњења у распону од васкуларних недостатка и оштећења косе ћелија у унутрашњем уху до поремећаја претпостављеног аудитивног пута. Зујање у ушима јавља се чешће у временима стреса. [7]

6. Постојећи акустички модели

Захтеви који се односе на акустику возила су се драстично повећали протеклих година. Ово је с једне стране условљено порастом захтева корисника, а с друге стране развојем и трендовима у аутомобилској индустрији уопште, при чему смањење тежине и трошкова има све већи значај. Уз то постављене су законске норме за спољашњу буку, које треба да испуни произвођач возила. Поред тога постоје и законски прописи у погледу задовољења и способности рециклаже материјала, који преко избора и развоја материјала такође делују и на област акустике и вибрација. Побољшање акустичког комфора постиже се применом нових виброакустичких материјала и бољом акустичком обрадом возила. [4]

Када на уво делују звуци комплексног спектралног садржаја и сложене временске структуре, као што је то на пример музика или шумови из окружења, вибрациони одзив базиларне мембране постаје много сложенији (што је приказано у овом поглављу). Маскирање може наступити због блискости маскирајућег и маскираног звука на скали фреквенција (фреквенцијско маскирање, поглавље 6.11) или због међусобне близине на временској оси (временско маскирање, поглавље 6.10). Такође, приказани су степени модулације АМ и FM тона, зависност нивоа нископропусне буке и фреквенције.

6. 1. Модел нелинераног унапред програмираног система

Модел периферног унапред процесираниог система мора да објасни три карактеристике:

- ✓ активност,
- ✓ повратне информације,
- ✓ нелинеарности.

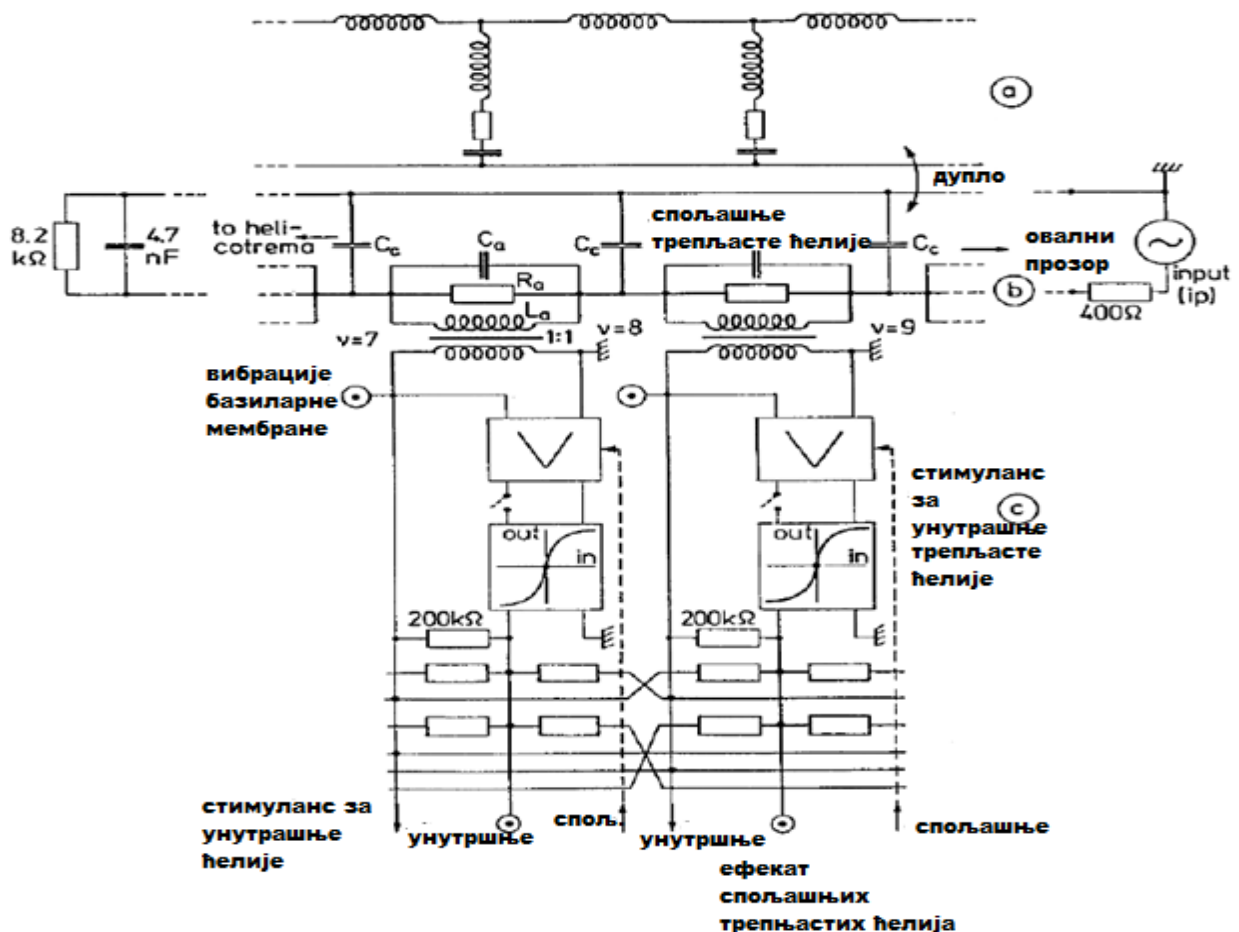
Такав модел симулира механичке и електричне догађаје у унутрашњем уху, и објашњава не само зависни фреквенцијски ниво већ и селективност као и ефекте сузбијања и истовременог маскирања. Модел је једноставан у својој основној структури, али због нелинеарности, његово функционално понашање није. [4]

Овај модел садржи линеарне и нелинеарне мреже. Да би се разумеле интеракције између ове две врсте мрежа, као и релативне апроксимације корисне за моделе рачунара, модел је први пут реализован у аналогном хардверду.

Иако реализација ограничава могућност коришћења великог броја секција, као и стварање прецизног типа нелинеарности, предност је у обради података у таквом систему што надмашује штету неких нетачности. Спољашње ухо и средње ухо се

игноришу у моделу и претпоставља се да они не производе нелинеарне ефекте. Због тога ће они бити третирани као линеарна кола. [4]

Апроксимација компликованог хидромеханичког система једнодимензионалног модела је груба, али ефикасна. Да би се ови предмети разликовали од стварних чињеница, број преграда је ограничен на око 8 по mm дужине. Кортијев орган шематски приказан на сл.18 а) означава структуру струјног кола, обично се описује као еквивалентна мрежа у унутрашњем уху, у вези са померањем Базиларне мембране. Ова мрежа је међутим пренета у другу мрежу (слика 18б), треба да омогући рад са напоном уместо струје. Могућности одзивања мембране се игноришу под претпоставком да су њена пригушења довољно велика да интегришу свој утицај у елементима приближавања. [4]



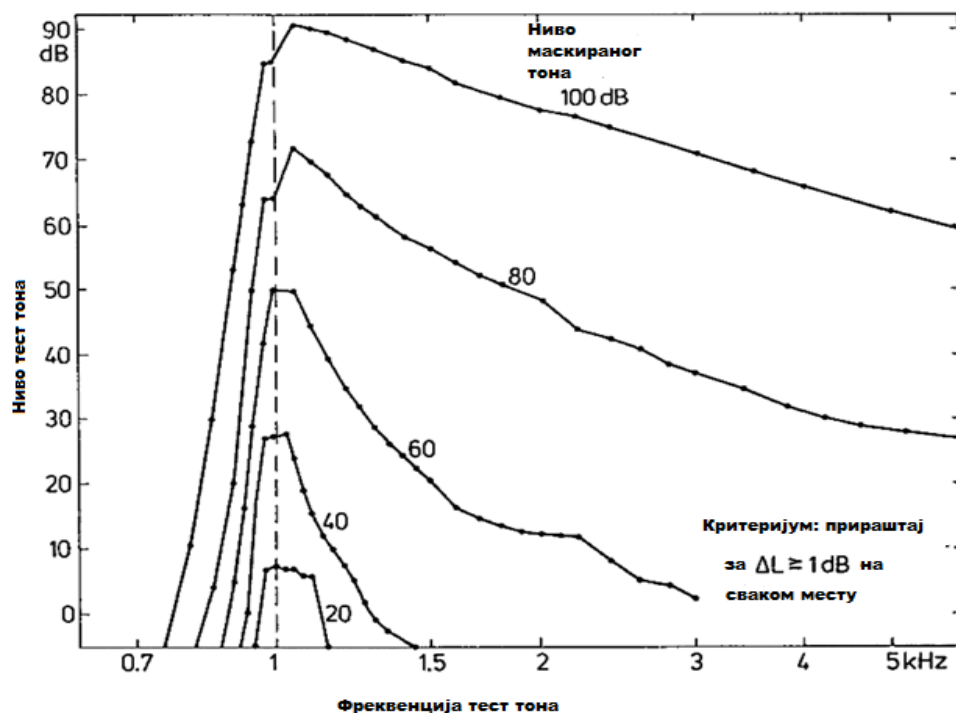
Слика 18. Блок дијаграм модела који се реализује у деловима од $130\text{ }\mu\text{m}$ [4]

- а) Еквивалентно струјно коло базирано на хидромеханици унутрашњег уха, обично се користи за представљање брзине осциловања Базиларне мембране ;(б) показује двоструко коло; ц)модел илуструје додатна нелинеарна повратна кола на сваком одељку

6. 2. Модел повратних информација

На слици 19. описан је периферни модел нелинеарног, активног предпроцесирања, што показује да маска врши нелинеарну функцију преноса која је инсталирана у повратне спреге засићења. На овај начин, повратна спрега се аутоматски искључује са повећањем нивоа.

Поред тога, сузбијање настаје када се додаје други тест тон. Овај тест тон се дешава у стању унутар повратне петље које одређује амплитуде. Узимајући у обзир да је одређени пораст у нивоу побуде на или близу карактеристичног места неопходно је да испитни тон чује тест тон, маскирање криве може се мерити у аналогном или моделу који се обрачунава у моделу рачунара. [4]



Слика 19. Маскирајући (скривени) обрасци се производе користећи нелинеарне, активне, повратне моделе. Ниво тона неопходног за тест производњу, на било ком месту дуж Базиларне мембране, пораст од 1 dB у зависности од фреквенције теста-тона. Параметар је ниво од 1-kHz, скривеног тона [4]

6. 3. Измене само-приметних звукова

Разматраћемо две различите врсте звучних промена. Једна је варијација која може да се упореди са варијацијама нивоа воде: увек постоји нешто што варира у функцији времена. У акустици, модулације су типичне промене које зовемо варијације. Друга врста промене је разлика, нпр: једна јабука може се разликовати од друге јабуке. У овом случају, упоредимо један комад са другим комадом. У акустици, то значи да упоредимо један звук са другим звуком представљен након паузе. Због ове две врсте промена могу да се активирају различите функције за обраду у нашем систему слуха, првим путем директног и брзог поређења и другим од активирања и увођења меморије, неопходно је стриктно уочити разлику између ове две врсте промена. Само-приметне разлике су корисне у производњи скале које се односе на положај, на пример трансформације терена кроз фреквенције-локације. У сваком случају, обе само-приметне варијације и само-приметне разлике су важне као "камење" на коме се гради кућа ". [4]

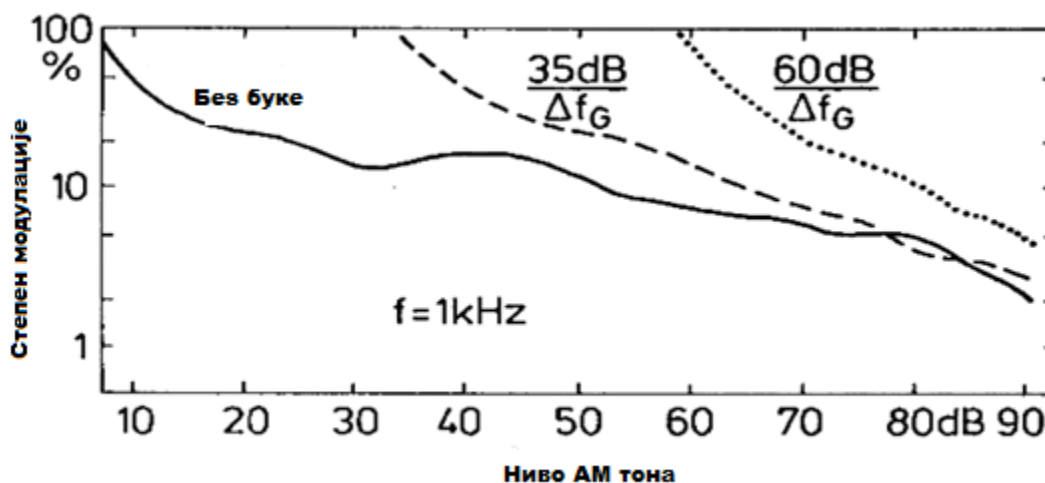
6. 4. Самовидљива промена амплитуде

Осећај гласности је интензитет осетљивости. За такве осетљивости, је не могуће конструисати скалу са размером на осетљивости из само-видљивих промена у интензитет које сабирају само-запажене варијације између два нивоа. Ипак, варијације само-приметних нивоа, као и само-приметне разлике на нивоу играју важну улогу. Чини се да амплитуде - или ниво прераде у расправи је заснован на елементу, од величина што је око 1 dB. [4]

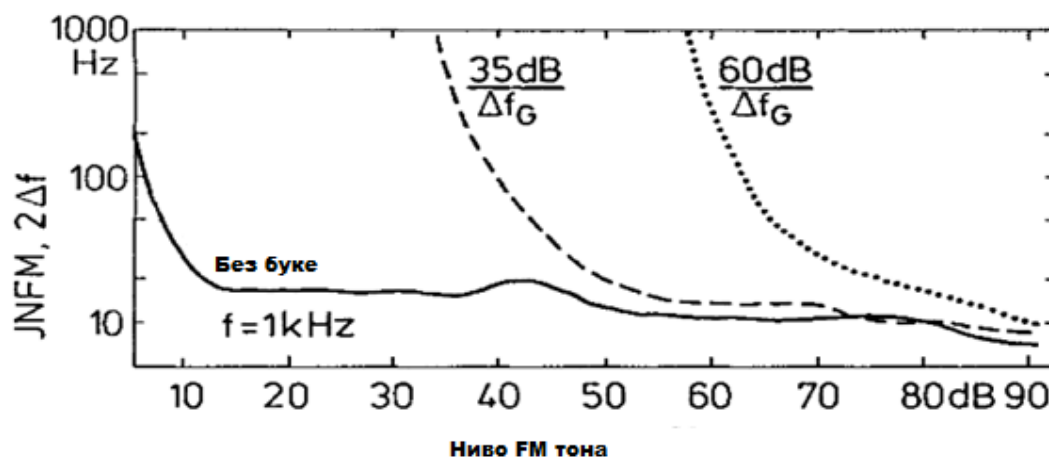
6. 5. Утицај делимичног маскирања на само-видљиве промене

Често када слушате музику или говор не можете слушати у тишини. Додатни тонова или звукова утичу на само-запажене промене звука. Такви утицаји морају се десити, јер праг у мирном се помера навише да постане маскирани праг. Важно питање је да ли додатни звук који производи парцијално маскирање утиче на само-приметан звук, мења се само у суседству маскираног прага или и на вишим нивоима. Ово питање се може разрешити ако се само-приметне модулације мере у функцији бучног нивоа.

За амплитудне модулације, резултати су означени на слици 20. Само-уочљив степен модулације је приказан као функција нивоа за стање у којем синусоидални тон представљен, у мирном или током истовременог представљања у широким маскирању буке са нивоима од 35 или 60 dB. Учесталост тона је 1 kHz, а модулација учесталости је остала на 4 Hz. Звук маскирање помера праг у мирном до маскираног прага на 32 и 57 dB за маскирање буке са нивоима од 35 и 60 dB, респективно. Изнад ове границе модулирани тон може да се чује. Само-приметан степен модулације брзо смањује нивое близу границе од 100% до око 4% на нивоу 25 dB изнад прага маскираног. На овом нивоу синусоидног тона, само-приметан степен амплитудне модулације мери се за тон у мирном који је скоро исти. Слични подаци налазе се на нивоу од 60 dB. У овој ситуацији, само-приметан степен амплитудне модулације готово може да мери под раскринканим условима на нивоу између 80 и 90 dB.[4]



Слика 20. Само-уочљиви степен амплитудне модулације тона 1-kHz као функција њеног нивоа. Пуна линија одговара подацима произведеним без позадинске буке, док сломљена и испрекидана линија представља податке са додатним нивоом буке.[4]



Слика 21. Само-уочљиви степен амплитудне модулације тона 1-kHz као функција њеног нивоа. Пуна линија одговара подацима произведених без позадинске буке, док сломљена и испрекидана линија представљене су са додатним нивоом буке. [4]

Одговарајући подаци за фреквенције модулације су приказани на слици 21, која приказује само-уочљиве девијације фреквенција, $2\Delta f$, у функцији нивоа модулираног тона. [4]

За делимична маскирања, само-приметна фреквенција модулације опада брзо, од високих вредности до вредности која је близу да се мери у мирном, без маске. Додатна бука помера маскирани праг ка вишим нивоима, али, у односу на маскирани праг понашања, показује слично понашање за маске на нивоима од 35 и 60 dB. Слично амплитуди модулације, само-приметна фреквенција модулације није под великим утицајем буке као нивои који се користе у модулираним тоновима 20 до 30 dB изнад прага маскираног. Слична мерења су обављена на центрима фреквенција 250 Hz и 4000 са сличним резултатима. [4]

Само-приметне модулације су измерене након смањујућих широкопојасних заштита буке, и одржавајући исти ниво се користи за добијање резултата што је приказано на сликама 20 и 21. Подаци су слични онима када се центар фреквенција буке и учестали модулирани тон поклопе. Утицаји делимичног маскирања могу се сажети на следећи начин: свака маска ствара побуде. За нивое сигнала више од 20 dB, маска утиче на прагове за модулације. То значи да око 20 dB изнад прага маскираног и више, степен амплитуда модулације и само-приметана девијација фреквенције остају готово исти, без обзира на то да ли је маска присутна. То није очигледно, али представља основну чињеницу да смо у стању да комуницирамо говором, иако се наша комуникација може одвијати у бучном окружењу. Мало података је доступно за само-приметне разлике које су утврђене са додатном буком у позадини. У већини случајева, само бели шум је коришћен као основа. Расположиви

подаци указују да само-приметна разлика у учесталости показује велике вредности у суседству маскираног прага. [4]

Међутим, 10 dB изнад прага, разлика у учесталости је само-приметна и већа је него без маскирања. Око 20 dB изнад маскираног прага, само-приметне разлике у учесталости достићи ће скоро исту вредност као што је мерено без маскирања. На располагању су само-приметани подаци, разлика у нивоу довешће до сличних резултата. У том случају, не само широки бенд буке, али и “нископропусни” и “високопропусни” звуци се користе као додатни маскери. [4]

6. 6. Модели самовидљивих промена

Јасно се може направити разлика између варијација и разлике у развоју модела са самовидљивим променама. [4]

6. 7. Модел за само-приметно разликовање

Резолуција амплитуда комуникационих система је један од њихових најважнијих карактеристика, али то није лако да измери ову карактеристику у нашем систему слуха. Користећи чисте тонове, имамо проблема са нелинеарношћу нашег слушног система. Користећи “уски опсег” буке, само-модулација звукова искривљује ефекат за којим смо у потрази. Само на врло високим фреквенцијама “уски опсег” буке може произвести звук да звучи као сталан звук, иако је ограничена на критичном пропусном опсегу. Ово се описује фактором:

$$S = \frac{\Delta I}{I} = 0,25 \quad (5)$$

и одговарајућим логаритамским фактором

$$\Delta LS = 10 \log \left(1 + \frac{\Delta I}{I} \right) \text{ dB} \approx 1 \text{ dB}. \quad (6)$$

Други важан фактор у таквим системима је фреквенција резолуције. Видели смо да критични опсези пружају добру апроксимацију за резолуцију фреквенције. Према вишим фреквенцијама, нагиб зависи од нивоа и смањује се повећањем нивоа од око 27 dB / до 5 dB / Bark тоном 60- dB у опсегу изнад 40 dB. Укупно, учесталост селективности нашег

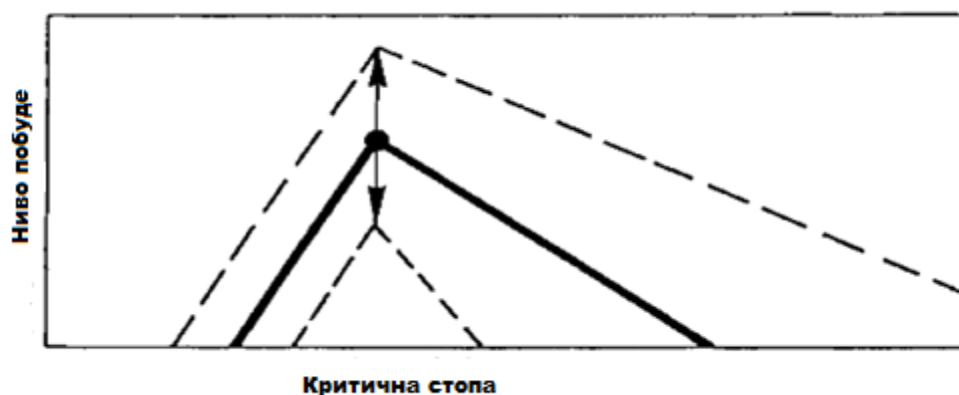
слушног система може се апроксимирати у односу на стопу по обрасцу. Модел за само-запажене споре варијације звука користи овај образац. Она размењује логаритамски праг-фактор, ΔLS , за одговарајуће нивое побуде варијације ΔLS . На овај начин релативно једноставан модел за само-запажене споре варијације звука могу дати: праг варијације звука који је постигнут када ниво побуде производи звук, L_e , стопа се мења негде на скали за више од $\Delta LS=1\text{dB}$. Стопа скале многих детектора делују независно једни од другог. [4]

Ови ефекти, међутим, су страни ефекти који се очекују само у ретким случајевима, а претпоставка да самостално делују је на задовољавајућем нивоу у већини случајева.

За “филтер пропусник (фреквенцијског) опсега” буке, имамо звучну модулацију звука. Ова само-модулација је далеко изнад прага, што значи да детектори већ реагују. Таква ситуација, такође се јавља код различитих амплитуда и тонова, чује се разлика између ова два рафала. У овом случају, постоји и јака промена у амплитуди или нивоима који доводе до тога да су детектори већ одговорили. Ово нас доводи до продуженог модела који је описан у следећем пасусу где ограничавамо моделе на само приметне разлике амплитуда и фреквенција. [4]

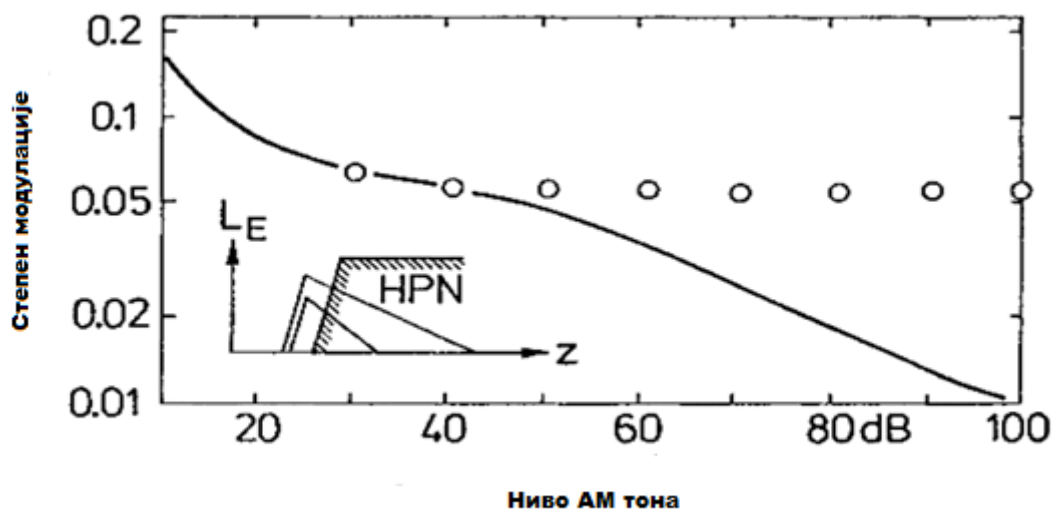
Побуде нивоа у односу на образац за „критични (фреквенцијски) опсег стопе, модулирани тонови амплитуда су шематски приказани на слици 22. Пуна линија показује неуређено стање, док две сломљене линије указују на екстремне вредности. Главне побуде (врх) и нижи нагиб побуде може бити корисно апроксимиран, како се креће горе и доле паралелно.

Горњи нагиб, међутим, мења се са нивоом према нивоу зависности од горње падине како је на слици приказано, односно не паралелно. Повећање од 1 dB може да произведе корак од 2 до 5 dB на горњој падини. [4]



Слика 22. Приказ нивоа побуде и критичне стопе [4]

То значи да праг за модулације се постиже када горњи нагиб - највише осетљив у овом случају - зависи више од 1 dB. Одговарајућа варијација главног подстицаја је два до пет пута мања од 1 dB. Другим речима, модулација одговара мање од четвртине једног dB што може бити довољно да се произведе побуда у горњем нивоу, на 1 dB, која одговара прагу. Стога, само-приметан степен модулације је мањи од 6% (тј мањи од 1 dB) на високим нивоима; Заиста, то може бити 1% (0,2dB). Тако да је разумљиво зашто је амплитуда модулација чистих тонова на високим нивоима, јер је много лакше чути него на нивоу близу 40 dB. Међутим, само-приметан степен амплитуда модулације мери се под таквим условима да остаје скоро константан у функцији нивоа. [4]



Слика 23. Приказ степена модулације и нивоа AM- тона

Отворени кругови на слици 23. јасно показују овај ефекат. Само-приметан степен амплитуда модулације мерен под овим условима је више од фактора од четири већа на високом нивоу у близини 90 или 100 dB него без додатне “високопропусне” буке. Коришћење елиминација горњег нагиба нивоа побуде у односу на образац „критични (фреквенцијски) опсег“ стопе, доводи до зависности од само-приметног степена амплитуда модулације на нивоу који одговара скоро тачно као да је мерена општа бука. Ово се може очекивати у случајевима у којима ухо не може да користи информације представљене на горњој падини и указује да модел предвиђа резултате исправно.

Постоји још један начин да проверите модел: слушање на 80-dB 1kHz-тон који се усклађује само мало изнад свог прага амплитуда модулације, може чути да модулација амплитуда доводи до флукуација осетљивости која одговара само на виши терен. Тај део осетљивости који одговара на терен самог тона остаје константан и не варира. Модел је направљен на овај начин, односно, седећи у кабини, слушајући колико је то могуће детаљно и размишљања о детаљима је значајно. [4]

Фреквенција модулација синусоидалног тона доводи до ексцитираног нивоа у односу на образац стопе које се могу апроксимирати. Она се креће лево и десно дуж „критичног (фреквенцијског) опсега“ скале. Под претпоставком да су детектори дуж скала „критичног (фреквенцијског) опсега“ стопе само у стању да реагују на ниво промене, постаје јасно да морамо тражити локације дуж скали „критичног (фреквенцијског) опсега“ стопа која први пут достигне промену 1 dB побуде нивоа као учесталост варијације која се повећава. Слика 24. показује да ће ово бити позиција доњег нивоа побуде у односу на „критични (фреквенцијски) опсег“ по обрасцу. Тамо, нагиб је најоштрији и достиже 27 dB. Горњи нагиб је равнији и производи 1 dB, а ниво пораста је много касније. Ниво побуде пораста од 1 dB је постигнут у доњој падини када $2\Delta f \times 27 \text{ dB} / \text{Bark} = 1 \text{ dB}$.



Слика 24. Приказ нивоа побуде и „критичног опсега“ стопе [4]

Само-приметне варијације у фреквенцији, $2\Delta f$, од синусоидалних тона може се израчунати да буде:

$$2\Delta f = \frac{\Delta f G}{27} \quad (7)$$

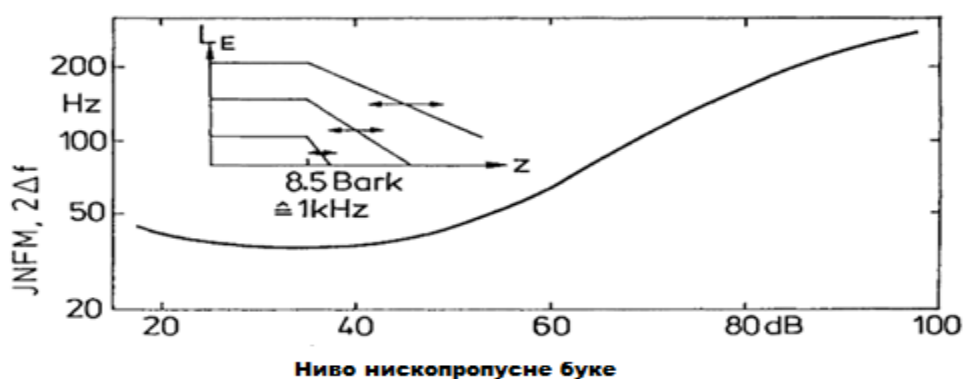
Будући да је нижи нагиб независан од „критичног (фреквенцијског) опсега“ стопе, модел се води директном пропорционалношћу између само-приметних фреквенција варијације, $2\Delta f$, и ширине „критичног (фреквенцијског) опсега“. Фактор између ова два би требало да буде 27, константо нижи нагиб у $\text{dB} / \Delta f G$. Ова вредност одговара прилично добро подацима приказаним на сл. 20. Модел претпоставља да висока осетљивост нашег слушног система за варијације у учесталости није успостављен коришћењем специјализованих система који реагују на промене фреквенција. Уместо тога, приказане стрме падине на слици 24. нашег слушног система су разлог за високу осетљивост на промене фреквенција.

Ова осетљивост се заснива на нашем слуху, способности система показују промене у нивоу побуде које су величине само од 1 dB. Чини се да наш слушни систем користи ову осетљивост за нивое који се мењају заједно са својом фреквенцијом селективности, да достигну високу осетљивост за варијације фреквенција.

Коришћењем модела, можда ћемо моћи да нађемо ситуацију у којој су горње падине побуде у нивоу у односу на образац „критичног (фреквенцијског) опсега “ стопа и може да се користи од стране нашег слушног система за детекцију промена фреквенције. У циљу успостављања овог ефекта доња косина мора бити драстично смањена. Ово се може урадити најлакше помоћу нископропусне буке у којој фреквенција одсецања периодично варира. [4]

Стручно усавршавање на слици 25. указује на ниво побуде насупрот стопе „критичног (фреквенцијског) опсега “ образаца који производе такве „ниско-пропусни опсег“ буке различитог нивоа. Један ефекат је узети у обзир користећи звукове: квантитативна вредност само-приметних модулација фреквенција ниско-пропусне буке је много већа у односу на фреквенције модулација синусоидалног тона, због статистичких модулације буке.

Као што је приказано на слици 25, горња падина постаје равна са повећањем нивоа буке „нископропусне“. Зато што једино варијације нивоа побуде - Поред флукуације буке - горње падине, одступања фреквенција мора да постане већа за повећање нивоа, како би се достигао критеријум који одговара само-приметном прирасту у нивоу побуде. Само-приметане фреквенције модулација, $2\Delta f$, фреквенција буке мерена као функција нивоа буке ниског степена пропустљивости. Крива која је приказана на сл. 21 указује на резултат који може у почетку бити неочекиван, али да је предвиђено по моделу. Иако повећава ниво, осетљивост нашег слушног система на промене фреквенције буке се нискофреквентно смањује. [4]



Слика 25. Зависност нива нископропусне буке и фреквенције [4]

тј, вредност $2\Delta f$ се повећава. То значи да наш чујни систем постаје - за разлику од наших очекивања - мање осетљиви на варијације фреквенција на вишим нивоима. Нормално, ми мислимо да можемо да чујемо боље ако се повећа ниво. Ово неочекивано понашање је разумљиво у смислу модела. Смањење нагиба одговара порасту у $2\Delta f$ од око 40 Hz на 30 dB на око 240 Hz са буком „ниско-пропусном“ на нивоу од 100 dB.

Модел може да се користи за праг у мирном и за маскиране прагове. На ниским фреквенцијама се претпоставља да предмет производи сопствени буку као последицу дотока крви у унутрашњем уху и вибрација произведених од срца и мишића. Ми се прилагођавамо буци, јер је увек ту и зато не обично чујемо, нарочито у нашем окружењу нормалних. Ова врста унутрашње буке је нарочито изражена на ниским фреквенцијама. У средњим и високим фреквенцијама може постојати бука произведена као нервна обрада. Ефекти нискофреквентног шума могу се квантитативно мерити затварањем нагоре спољашњег ушног канала, упоређивања измерене буке помоћу сонде микрофоном у овом затвореном стању, са истим мерењем оствареног у отвореном стању. Повећање буке у мирном које више не може да се зове праг у мирном, јер се унутрашња бука чује иако је слаба. Прагови маскираних бука могу се лако израчунати помоћу нагиба побуда нивоа. Пошто је модел базиран на маскирање узорака који се трансформишу у побуду, такође се може користити у другом правцу. Дакле, прираст само-приметаног нивоа побуде постаје 1 dB и одговарајући праг фактор од 0.25. Одговарајући индекс маскирања је -6 dB. За тест-тон фреквенције од 5 kHz, можемо израчунати маскираним прагом користећи модел. Ширина “критичног (фреквенцијског) опсега” достигне $\Delta f_G = 1000$ Hz на 5 kHz. За ниво лажне густине од $LVN = 40$ dB, ниво буке који спада у критиче траке на 5 kHz, постаје:

$$LG = l_{WM} + 10 \log 1000 \text{ dB} = 70 \text{ dB} \quad (8)$$

Пошто индекс маскирања одговара разлици нивоа између тест тона и нивоа „критичног (фреквенцијског) опсега“, односно $LT = L_{TAB}$, ниво тест-тона на маскирани праг постаје $LT = 64$ dB. Обрачун прага синусоидалних тонова маскираног белог шума може се генерализовати на следећи начин:

$$LT = l_{WN} + 10 \log \frac{\Delta f_G f}{\text{Hz}} \text{ dB} + av(f) \quad (9)$$

Индекс маскирања има негативне вредности, а промене од 6 dB на високим фреквенцијама до 2 dB на ниским фреквенцијама. Ту је критични пропусни опсег 100 Hz и индекс маскирања је 2 dB. Ово доводи до нивоа 500 Hz тона на прагу

$$LT = 40 \text{ dB} + (10 \log 100) \text{ dB} - 2 \text{ dB} = 58 \text{ dB} \quad (10)$$

Ниво LT једног тона на прагу може се израчунати за сваку стопу, Z , користећи следеће једначине за индекс маскирања $AB(z)$:

$$av(z) = [10 \log s(z)] \quad (11)$$

(z) који је фактор прага корелацијаза логаритамских праг фактора $\Delta LS(z)$ једначином

$$s(z) = \frac{10\Delta LS(z)}{10 dB - 1} \quad (12)$$

логаритамски праг $\Delta LS(z)$ зависи од “критичног (фреквенцијског) опсега” стопа z на следећи начин:

$$\Delta LS(z) = (2.2 - 0.05z_{Bark}) \text{ dB}. \quad (13)$$

Коришћење побуде нивоа у односу на обрасце “критичног (фреквенцијског) опсега” курса у моделу је пример корисности тих образаца. Чини се да је један од основних образаца које наш слушни систем користи и да је од пресудног значаја у многим психоакустичким ефектима осетљивости. [4]

6.8. Симулатор звука

Модел „4100“ који је развио „Brüel & Kjaer“ је манекен са уграђеним симулирајућим ушиима и устима који даје реалну репродукцију акустичких особина једног просечног одраслог човека, односно његове главе и тупа. Он је пројектован тако да се користи у акустичким тестовима, на пример, телефонска слушалица, слушалице, аудио уређаји, микрофони, слушни апарати. Заснива се на акустичкој глави која на местима позиционираним у ушном каналу има два микрофона која симулирају просторно одвајање од ува до ува на људској глави, обезбеђује сигнале који уочавају узроке и сметње изазване на глави и горњем делу тела тродимензионалног снимања. Две силиконске заптивке око микрофона обезбеђују усмереност звука слично као што прима људско ухо. Овај симулатор има звучну тканину коју измиче лако преко врата лутке, што помаже у промени рефлексije из тела и рамена да се добије исправна усмереност звука. Положај главе може да се подеси окретањем прстена око врата, тако да глава изгледа равно или благо нагнута на доле под углом од 17° (слика 26). Микрофони се лако инсталирају. [26]

Квалитет звука који се добија представља човечији увид, односно како то човек чује и доживљава, што представља најважнији фактор приликом процене укупног квалитета производа. Ово се односи на све облике превоза: возила, авиона, возова и бродова. Домаћинства и канцеларијске машине су производи који такође све више подлежу оптимизацији квалитета звука. [26]

Субјективно слушање и коначна оцена квалитета производа се доноси на основу одабране групе људи. Сваки човек из те групе како би донео своју оцену о квалитету звука морао би нпр. да вози возило и даје своје резултате квалитета. Пошто је овај начин провере веома скуп, модел „4100“ може да се користи да направи квалитетно Бинаурално снимање буке тих уређаја на хард диску које се преноси на рачунар са квалитетном звучном картицом. Овај запис може бити истовремено представљен свим испитаницима. [26]

Међутим, да би се избегле грешке у овом процесу, важно је да су акустичке особине снимања и репродукције што тачније. Врста „4100“ и „4100 D“ стога је дизајнирана да има фреквентни одзив на звуке који долазе из свих праваца. [26]



Слика 26. Пример симулатора звука „Brüel & Kjær“ [26]

Врло често, прва процена квалитета звука неког производа, према мишљењу стручних људи (жирија), није задовољавајућа. Дакле, снимљени сигнали из врсте 4100 и 4100 D

могу бити модификовани помоћу технике за обраду квалитета звука, софтверског програма и рачунара. Модификовани сигнали се затим упоређују са оригиналом, од стране жирија, у тесту слушања. Овај моде се користи за снимање буке возила, за процену квалитета звука и тестирање буке, као и проверу буке из кућних апарата, канцеларијске опреме, итд. Модел поседује високу осетљивост, низак ниво буке, подесивот угла врата лутке, и има малу тежину. [26]



Слика 27. Приказ модела В&К са мобилним телефоном.[26]

На слици 27. дат је приказ модела В&К помоћу кога се мере јачина звукова који се преносе са телефона на корисника под различитим угловима. Испитује се деловање сигнала који произилазе из телефона на манекена (који симулира човека).[26]

6. 9. Рад ува при комплексној звучној побуди

Када на уво делују звукови комплексног спектралног садржаја и сложене временске структуре, као што је то на пример музика или шумови из окружења, вибрациони одзив базиларне мембране постаје много сложенији. Тада долази до међусобних утицаја између побуда које делују на блиске делове базиларне мембране, као и до других појава у унутрашњем уву и на нервним путевима. Све то заједно чини да је процес перцепције комплексних звукова сложенији од случаја синусних тонова. То све чини да је процес перцепције комплексних звукова сложенији од случаја чистих тонова. Најзначајнија појава при побуди комплексним звуковима је маскирање. [8]

Маскирање је појава која се манифестује неспособношћу чула да региструје неки звуци надражај само због тога што истовремено у уво стиже неки други, конкурентски звук који га на изванредан начин "маскира". (међусобну "конкурентску" звукова треба посматрати са аспекта њиховог дејства на базиларну мембрану). Маскирање може наступити због блискости маскирајућег и маскираног звука на скали фреквенција (фреквенцијско маскирање) или због међусобне близине на временској оси (временско маскирање). [8]

6. 10. Временско маскирање

Временско маскирање подразумева да при побуди чула слуха неким звучним стимулусом постоји изванредан интервал времена пре и после његовог деловања у којој други звукови, ако немају довољан интензитет, не могу бити регистровани. Активирање механизма чула слуха при наиласку звучне побуде ствара услове да оно постаје неосетљиво на друге, слабије стимулусе који су на временској оси наишли непосредно пре или непосредно после те побуде. [8]

Маскирање после престанка побуде, последица је чињенице да се базиларна мембрана не може моментално смирити након искључења стимулуса. Може се рећи да базиларна мембрана има неку своју „реверберацију“ која се манифестује коначном брзином смиривања вибрација. Интервал у коме се јавља маскирање зависи од интензитета претходне побуде и може трајати неколико десетина ms. Да би нека нова побуда била регистрована мора бити јача од тренутног стања вибрација базиларне мембране у том процесу смиривања. Појава маскирања уназад значи да долази до ометања перцепције звука који је у уво стигао раније, ако он није био довољног интензитета да се на путу до центара у мозгу "избори" са надражајем који је стигао нешто касније, али је знатно јачи. Оваква појава је последица постојања механизма деловања дуж неуронских путева. На њима долази до "претицања" информација на путу до мозга. Временски интервал у коме се јавља ова врста маскирања је реда величине пар мили секунди. [8]

6. 11. Фреквенцијско маскирање

Фреквенцијско маскирање је појава да чуло не може да региструје присуство неког тона због тога што истовремено на уво дејује неки други тон блиске фреквенције који га маскира. Неки нови звук на суседној фреквенцији који би се појавио истовремено може утицати на базиларну мембрану само ако је побуди вибрацијама које су веће од већ постојећих. Ако је његов интензитет мањи, он не може допринети вибрацијама мембране. [8]

Фреквенцијско маскирање се квантификује кривом маскирања која показује да у случају побуде синусним тоном неког задатог интензитета уво не може регистровати звукове који се налазе испод уцртане границе маскирања. Само тон чија би побуда искочила изнад границе маскирања може бити перцепиран. [8]

Крива маскирања својим обликом није симетрична у односу на положај фреквенције маскирајућег тона. Она је ширија према високим фреквенцијама и опада све до највиших чујних фреквенција. Облик криве маскирања у извесној мери се мења у зависности од фреквенције маскирајућег тона и његовог интензитета, али увек задржава асиметрични облик у односу на побудну фреквенцију. Та несиметричност је директно усовљена обликом распореле амплитуда осциловања базиларне мембране. Без обзира на побудну фреквенцију, базиларна мембрана осцилује од свог почетка, од овалног прозора, до зоне где наступа резонанца. То даље значи да ће за сваку фреквенцију побуде крива маскирања својим десним крајем допирати до највиших чујних фреквенција. Због те чињенице маскирајући тонови ниских фреквенција прекривају маскирањем већу површину области чујности него тонови високих фреквенција. [8]

Појава фреквенцијског маскирања може схватити као специфична деформација границе чујности, јер оно подразумева померање границе чујности навише у зони лево и десно око побудне фреквенције. Испод те границе звукови нису чујни. За различите нивое побуде неким тоном може се нацртати читава фамилија кривих маскирања. Исто тако могу се приказати криве маскирања и за различите фреквенције побуде, па се појава фреквенцијског маскирања у целини описује скупом кривих. [8]

Када се слушају комплексни звукови фреквенцијско маскирање чини да део присутног звучног садржаја није доступан чулу слуха. Најјаче компоненте маскирају евентуалне истовремено присутне слабије компоненте. Та чињеница је искоришћена за компресију аудио сигнала. Почетак алгоритама којим се врши компресија заснива се на меморисаној банци кривих маскирања за различите фреквенције и нивое. [8]

6. 12. Субјективни доживљај јачине сложених звукова – гласност

Субјективни доживљај јачине звука при сложеној звучној побуди представља резултат суперпонираних утицаја свих анатомских и физиолошких особина, али и неких психолошких фактора који делују у комплексном процесу стварања звучне слике. У односу на доживљај јачине простих синусних тонова, субјективни доживљај јачине комплексних звукова је сложенија појава. Он се у општем случају не може извести линеарном трансформацијом из скупа података о нивоима звука појединачних звучних компоненти које делују на уво. [8]

Чак и при дејству звукова који се састоје од мањег броја спектралних компоненти субјективни доживљај јачине није линеарна комбинација нивоа гласности појединачно препознатљивих компоненти, већ резултат зависи од њихових међусобних односа на фреквенцијској оси и релативних интензитета. За квантификовање субјективног доживљаја јачине сложених звукова конвенцијом је утврђена величина која се назива гласност. Јединица гласности је son, а уобичајена ознака за гласност је s. [8]

Гласност је потпуно субјективна величина, и податак о гласности неког звука може се добити само субјективним поређењем са неким референтним звуком чија је гласност позната. Скала гласности је, по конвенцији, дефинисана везивањем за једну референтну тачку која је објективно мерљива. Усвојено је да гласности од 1 son-а одговара јачина звука 40 fon-а. На фреквенцији 1 kHz овај субјективни ниво је егзактно дефинисан и одговара побуди нивоа звука 40 dB. Постојала је потреба да скала на којој се изражава гласност има линеарну природу, што значи да удвостручавање гласности, односно удвостручавање субјективног доживљаја јачине звука, подразумева двоструку вредност у сонима. Због логаритамске природе скале фона двоструко већа субјективна јачина чистих тонова звука не значи двоструку вредност у фонима. Тестовима је утврђено да субјективни осећај двоструко јачег звука захтева повећање јачине звука за око 10 fon-а. Скала сона дефинисана је тако да по дефиницији гласности 1 son-а одговара јачини звука 40 fon-а и промени од 10 fon-а одговара удвостручавању броја сона. То омогућава да се установи аналитичка веза између гласности и јачине звука при слушању чистих тонова. Израз који дефинише овакву њихову везу је:

$$S(\text{sona}) = 2^{\frac{f(\text{ona}) - 40}{10}} \quad (14)$$

Зависност одређена горњим изразом представља само један математички модел и не осликава потпуно понашање уха, поготово за веома ниске нивое звучне побуде. Ипак, израз је довољно тачан за многе практичне апликације када се оцењује доживљај чистих тонова. Одређивање гласности неког сложеног звука може се вршити само поређењем са другим звуком познате гласности, јер не постоји потпуни математички модел за одређивање

субјективне јачине сложених звукова. Данас на тржишту постоје софтверски пакети који служе за оцену субјективне јачине звука на основу сигнала регистрованог микрофоном. Иако су то само упрошћени модели, њихова тачност је за многе инжењерске апликације прихватљива. Сви алгоритми полазе од спектра звука да би се одредио утицај маскирања. Најчешће је коришћена такозвана Цвикерова метода. Она полази од $1/3$ октавног спектра и омогућава одређивање гласности и када је спектар звука нерегуларан, чак и са појединачним дискретним компонентама. [8]

7. Акустичка глава

Јединствена технологија мерења узима у обзир способност људског слушног апарата. То је једини начин да се ефикасно репродукује субјективни доживљај звука. “Head acoustics” (слика28) нуди комплетан асортиман опција анализе. Ипак, субјективна процена звукова увек игра главну улогу па је тако чврсто интегрисана у мерењу и ланцу анализе. [24]

Акустички квалитет техничких производа постаје све важнији попут аутомобила и кућних апарата. Акустика уређаја или карактеристичан звук неког аутомобила утиче на одлуку о куповини неког купца. Истраживање звучних емисија су неопходни за побољшање карактеристика акустике возила.



Слика 28. Акустичка глава као модел изучавања људских чула [24]

Акустичка глава је интелигентно решење за интерактивну и аутоматску детекцију нежељених звукова. Ово решење омогућава снимање, анализу и идентификују одговарајућег извора буке. [22]

Производи опсега акустичке главе су подељени у системе за снимање, анализу и репродукцију звука, вибрација. Прикупљање података се може извршити било са 24 битном акустичком главом или са низом вишеканалних, свестраних производа. Акустични производи главе су компатибилни за међусобно комбиновање и могу се користити за стварање комплетних мерних система. Потребан софтвер је једноставан за инсталацију и једноставан за руковање, а што је најважније пужа поуздане податаке. [13]

Са конвенционалним мерењима једног канала могуће је одредити квалитет буке животне средине и непријатности проузроковане сложеношћу животне средине, као и извора звука одређене ситуације. Важни аспекти који утичу на субјективни утисак, су маскирани ефекти, звучни утисци, просторна дистрибуција и сложене фазе односа. Конвенционална мерења и анализа технике само делимично узима у обзир аспекте теза. Употреба бинауралне технологије препоручује се да се премости овај јаз. [22]

Акустичка глава прецизно симулира акустички релевантне компоненте, а то је у стању да добије “auralli-binaural” тачне снимке звука догађаја. Репродукцијом на бинауралне

снимак ствара се утисак аудитиван за слушаоца који је исти као што би доживео слушалац да је био присутан у оригиналном догађају звука. [22]

Резултати тестова слушања веома су поуздани. Мерења бинауралном технологијом, су неопходна ако је потребна накнадна репродукције шума, на пример у случају даљег испитивања у лабораторијама (слушање тестова). Овај увид је постао широко прихваћен; употреба бинауралне технологије у психо анализама, у инжењерској акустици полако осваја признање. [24]

Пример коришћења ове технологије је приказан на слици 29.



Слика 29. Акустичка глава која се користи за снимање буке у животној средини [24]

Бинаурална технологија се разликује од стерео снимака, који вештачки приказују звук на леви и десни канал. Уместо тога, бинаурална технологија звучи онако као да слушамо нашим ушима. Као што човек користи 3D наочаре да ужива у 3D визуелним сценама, бинаурална технологија захтева од слушаоца да носи слушалице. [24]

7. 1. Модели и анализе прорачуна

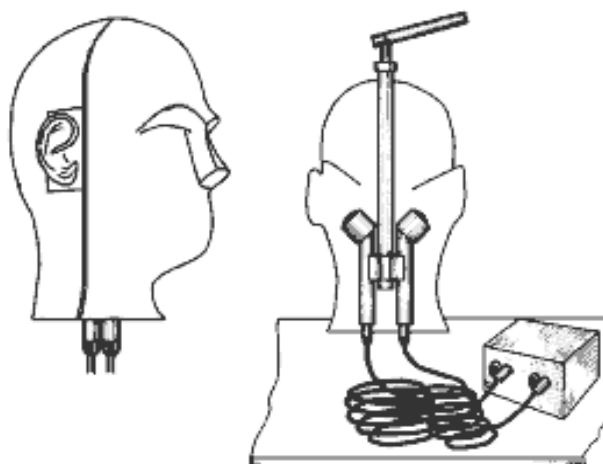
Генерално, бука у животној средини се осети путем звучних механизма перцепције људског слуха. Уочени звук неког догађај може се описати и анализирати у смислу психо-параметара, боја: као што су гласности, оштрине, грубост, флукуације снаге и сл.. Ови параметри описују стање буке у животној средини. Различити модели прелиминарних обрачуна развијени су како би се утврдила непријатност. На пример, „Zvicker” је непристрасано развио израчунавање непријатности јачине звука, оштрине и флукуација снаге. „Terhardt” је развио модел за одређивање „пријатности буке “ користећи гласност, оштрине, без неравнина и тоналитета. [4]

Проблем гласности (просек временских вредности, разлика између гласноће буке и звучне позадине). Даља истраживања морају се извршити да би се утврдио модел интегрисања релевантних параметара, који сматра механизам перцепцијом звука у корелацији са оценом сметња респективно. Дакле, утицај различитих параметара (нпр. психо) у односу на узнемиравања од стране буке у животној средини морају бити простудирани. Примена осталих параметара - поред познатих психо параметара-може бити корисна што се тиче описа и процена животне средине , буке. [4]

7. 2. Унутрашњост акустичке главе

Геометрија акустичке главе је описана симулацијом и она одговара величини људске главе. Да би се омогућило снимање као и пренос звука, акустички сигнали морају бити пребачени у електричне сигнале, бележе се у овом облику и даље преносе у звучне сигнале. Постоје различити начини преношења звука према броју електричних канала (један, два, четири и сл.). Повезаност акустичке главе помоћу два канала је једноставна и логична техника. [17]

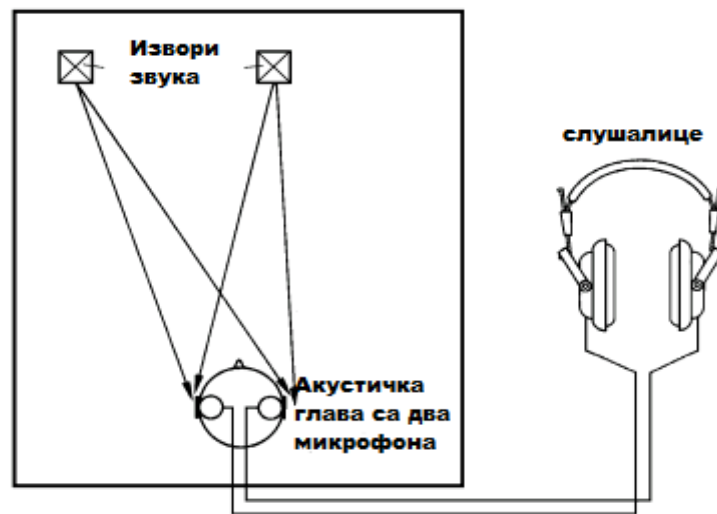
Технички говорећи звучно поље које стоји на ушима слушаоца у соби за снимање је забележено од стране акустичке главе, тзв. манекен глава репродукује директно звук на уши слушаоца уз помоћ слушалица. [17]



Слика 30. Акустичка глава [17]

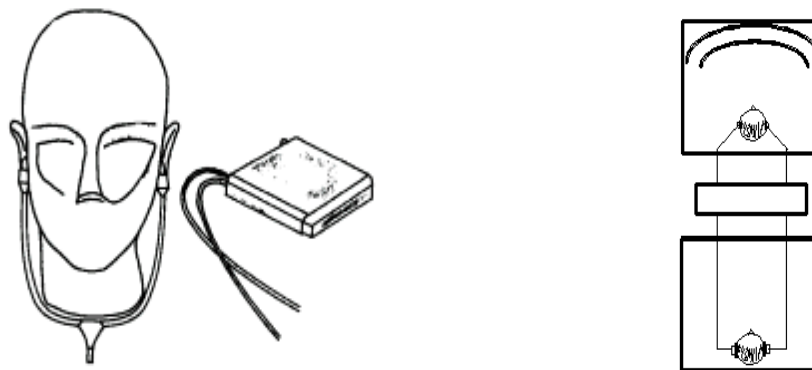
Ова глава симулира људску главу у акустичком смислу што је више могуће. На месту ушију налазе се микрофони чије карактеристике, правци и друге физичке особине одговарају особинама људских ушију (слика 30). [17]

Карактеристике ове технологије се огледају у томе што сви звуци у свим правцима (учесталост, удаљеност) су тачно репродуковани. Прецизан и тачан приказ звучне собе могућ је уз помоћ ове технике. Пренос свих звучних сигнала се преноси из различитих праваца уз помоћ само два канала, јер акустичка глава линеарно искривљује сигнале зависно од смера звука учесталости. [17]



Слика 31. Пренос информација са акустичке главе на слушалице [17]

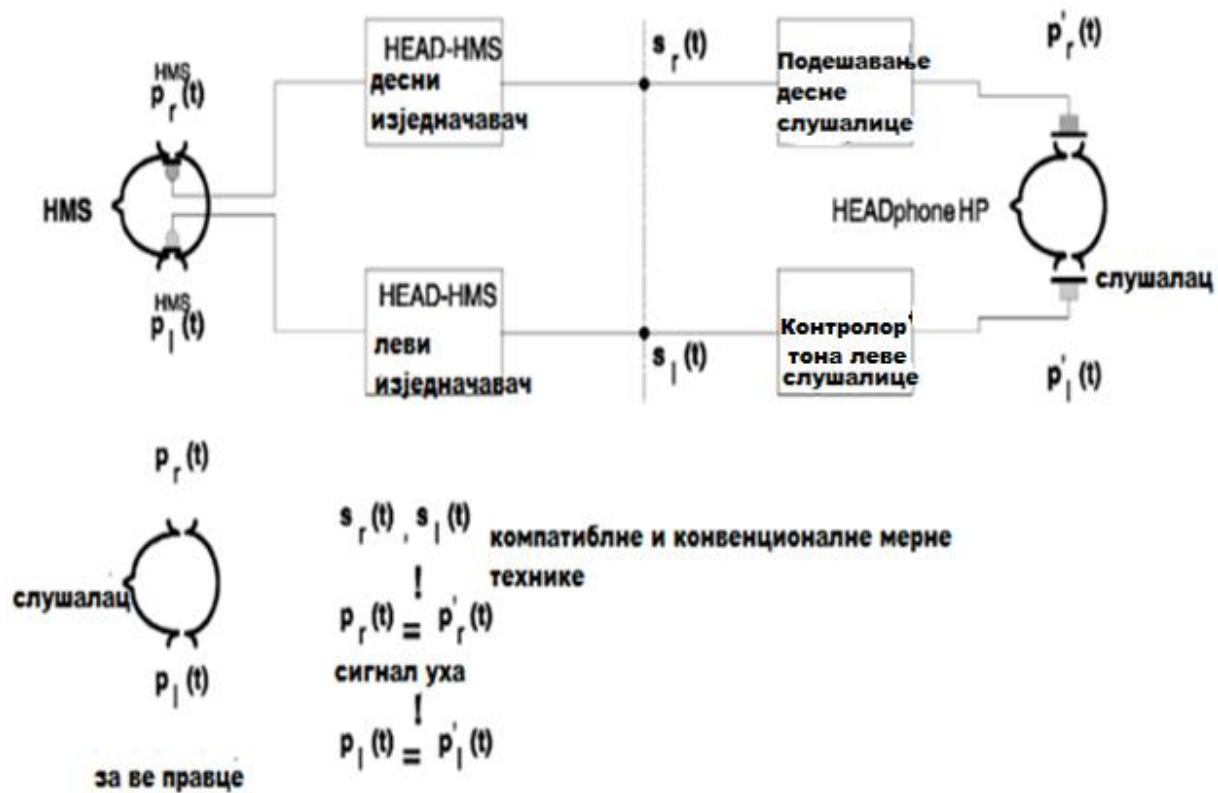
Са друге стране акустичка глава има и мане јер се информације директно преносе на слушаоца, а не на акустичку собу. Оптимална репродукција је могућа уз помоћ телефона (слика 31). [18]



Слика 32. Снимање помоћу акустичке главе [17]

Постоји још један тип акустичке главе који је изграђен од два микрофона који су у облику „U“, тако да постоји могућност да виси око главе (слика32). [17]

Основна идеја преноса акустичке главе приказана је на слици 33.[19]



Слика 33. Пренос информација са акустичке главе [18]

Два микрофона која на акустичкој глави снимају звук и уз помоћ изједначивача дају реалну слику, односно идентичне звуке као да је слушалац био ту (слика34).



Слика 34. Пренос звука са акустичке главе на слушаоца [21]

Акустичка глава са 4 канала омогућава мултимодалну репродукцију буке унутрашњости возила, као и вибрације са точка управљача и седишта. Приказује реалне акустичке симулације вожње у различитим ситуацијама, бука ентеријера представљена је у аутентичном облику. [19]

Испитивање на овај наћин омогућава испитаницима релану слику као да су возили право возило, јасно могу уочити убрзање, кочење, пребацивање брзина, где се бука и вибрације прилагођавају одређеним ситуацијама у вожњи као што су брзина возила, брзина обртаја, оптерећење мотора. [19]

Овај изум омогућава да се добије реална слика и утисак као и могућност директног поређења различитих варијанти. Звучне компоненте се репродукују бинаурално преко слушалица са исправним изједначавањем звука. [20]

За оптималне вибрације испод седишта и волана постављени су тзв.тресачи (уређаји који симулирају могуће вибрације током вожње). Симулација вожње се контролише преко педала за кочење као и ручице мењача. Поред тога постоји и екран осетљив на додир. Током симулирања вожње мора да се прикаже визулени приказ као и тренутни обртаји и брзина (слика35). [20]



Слика 35. Приказ симулације вожње [19]

Снажан рачунар се користи као централна контролна јединица и идеална је за покретање софтвера за симулацију. [19]

Вештачка (акустича) глава се користи како би се на што бољи начин дочарао осећај корисника нпр. унутрашњости неког аутомобила. Глава се поставља на место возача или сувозача у зависности шта желимо да испитамо, затим меримо буку тог аутомобила. Као што је бука приликом затварања врата, укључивања жмигаваца, подизања стакала и сл. [19]

7. 3. Удобност за уши

Због све већих захтева купаца, унапређење квалитета звука као и истраживање техничке опреме је постао непоходан корак при производњи аутомобила. Производе које даје акустичка глава се користе интензивно, као што су информационе технологије (ИТ). Такође се користи у индустрији комуникација, производима за домаћинство, авионима, бродовима, и у производима који се односе на квалитет тестова. Већ дуги низ година, акустичка глава пружа комплексна системска решења за звучну анализу на терену као што су дијагноза звука, архивирање звука, као и за дубинско испитивање акустике и вибрационих понашања производа. [8]

У телекомуникационим технологијама, иновативне методе испитивања побољшавају квалитет иновационих мрежа, терминала и њихових компоненти. На пример, на подручју повећање значаја оптимизације квалитета говора у бучном окружењу, што се може постићи користећи ове нове технологије. [8]

Технологија је свеобухватан општи концепт, од снимања звука и анализе до калибрисане репродукције. Анализа система комбинује објективно бинаурални звук и вишеканалну анализу вибрација. Ова комбинација је идеалан алат за испитивање механичких вибрација упоредо са квалитетом звука. Посебним поступци могу идентификовати узнемирујућу звуци, одредити узроци и начини за успешно решавање акустичких проблема. Прецизне модификације звука раде се да смање квалитет производа. Индивидуална процена корисника је одлучујући критеријум који се односи на звук и квалитет комуникације у адекватном коришћењу производа. [8]

Компоненте возила могу да се модификују коришћењем поступака бинауралне анализе и синтезе. Добијени звуци унутар возила модификују се симулацијом чула слуха. Виртуелним инжењерским алатима акустике главе омогућена је интерактивна размена компонената. [8]

Виртуелна реалност

Користећи систем за симулацију са мултимодалном опцијом за репродукцију, доживљавамо будуће производе на реалистичан и интерактиван начин. Са овим системом развијају се симулације интерактивног дизајна звука. Оптимални звук производа може бити реализован кроз селективне звучне модификације. Поред високих перформанси за мерење комуникацијских технологија, „head acoustics“ нуди велико побољшање на говор и аудио квалитет. Глава акустике је експерт партнер за мерење, анализу и оптимизацију квалитета комуникације у сложеним конфигурацијама за све врсте терминала у возилима, мрежама и методама уха. [14]

Психоакустичка анализа

Врх психоакустичке анализе описује корелацију људског осећаја звука са његовим физичким параметром звучног поља. При томе, чисти физички параметри: као што су нивои, фреквенције, пропусни опсег, трајање и степен модулације су приказани преко прецизних параметара (Психоакустичких параметара) који се односе на обраду података који се одигравају у можданим ћелијама. Психолошки део чула слуха и данас представља само делимично обрађену стручну тему. Разлози су с једне стране у његовој сложености, а с друге стране у томе што је немогуће споља приступити процесима који се дешавају у можданим центрима. [13]

8. Трендови даљег развоја

Захтеви који се односе на акустику удобност возила су се драстично повећали протеклих година. Ово је с једне стране условљено порастом захтева корисника, а с друге стране развојем и трендовима у аутомобилској индустрији уопште, при чему смањење тежине и трошкова има све већи значај. Уз то постављене су законске норме за спољашњу буку, које треба да испуни произвођач возила, поред тога постоје и законски прописи у погледу рециклаже материјала, који преко избора и развоја материјала такође делују и на област акустике и вибрација. [2]

Како временом наука напредује тако се отварају и све већи захтеви људи у погледу акустике. Сваки потрошач куповином новог аутомобила жели да себи обезбеди што удобнији акустички простор, јер тиме смањује ризик утицаја непотребних и непожељних звукова које можемо назвати буком. Као што је већ предходно наведено у раду, бука има велики утицај како на психичко стање тако и на здравствено стање човека уопште.

Открићем нових метода за смањење буке као и само њено изучавање омогућава напредак у овом погледу. Коришћење разних адаптивних материјала, заптивки и сл. помагала бука у унутрашњости аутомобила се из године у годину све више смањује. Колико је битно да бука буде сведена на минимум у унутрашњости аутомобила исто тако је и важно да ниво спољашње буке возила буде све мањи. Промена границе нивоа спољашње буке путничког возила са 4 точка приказана је на слици 7. [3]

Модерна возила се дизајнирају и израђују у циљу постизања економичније потрошње горива, што захтева смањење тежине. Насупрот томе, јављају се и захтеви за постизање веће снаге мотора, па треба наћи компромис између акустичког комфора снаге и тежине. Када се дода и фактор цене онда је проблем акустике врло комплексан.

Захтеви који се односе на акустику у возилу су се протеклих година знатно повећали. Ово је условљено порастом захтева корисника, а с друге стране развојем и трендовима аутомобилске технике, при чему аспект смањења тежине и трошкова игра све већу улогу. Треба пазити и на законске прописе у погледу задовољења могућности рециклаже.

Један од новијих решења за испитивање буке, који је меродаван са човечијим чулима јесте акустичка глава. Она омогућава да све звуке који допиру у дату околину региструје и меродавно прикаже испитанику. Надоградњом акустичке главе као система и открићем нових сензора који региструју звуке могуће је приказати нове трендове развоја акустике.

9. Закључак

Многи људи изражавају незадовољство због саобраћајне буке. Спољашња бука путничких аутомобила је снижена за више од 10 пута од 1966. године до данас. Један од начина смањења спољашње буке возила је снижавањем буке појединачних извора. Уградња ново-конструисаног апсорпционог пригушивача звука и његово приближавање мотору, у односу на положај конвенционалног, допринело је редукацији спољашње буке за 0,6 dB (A).

Побољшање акустичког комфора возила, налаже потребу за сталним усавршавањем постојећих и испитивањем нових виброакустичких материјала са побољшаним перформансама.

Примеру показују да променом материјала и технологија израде изолације преградног зида знатно се побољшава акустички комфор. Повећање апсорпције у пртљажном и путничком простору, истовремено пресецање путева преноса буке каналима каросерије и смањењем акустичких отвора на преградном зиду доводи до побољшања акустичког комфора.

Да би знали где и колико бука треба да се смањи односно уравнотежи користе се нове методе попут акустичке главе са комбинацијом разних симулација. Све то омогућава да човек на што бољи начин функционише, да се смање штетни фактори по околину и тиме побољша читава животна средина.

Акустички модели много помажу при процени звука, одређивању његовог квалитета као и веродостојном симулирању. Акустичка глава је један од модела који је веома поуздан и признат како у акустици тако и у инжењерству, омогућила је да се при разним испитивањима не користи човек, већ акустичка глава која симулира човека и на исти начин прима звуке.

Бинаурална технологија захтева од корисника да носи слушалице. Па можемо рећи да су и слушалице акустички модел који има и највећу примену. Репродукцијом на бинауралне снимке ствара се утисак аудитиван за слушаоца који је исти као што би доживео слушалац да је био присутан у оригиналном догађају звука.

Модел који је развио „Brüel & Kjær“ је дизајниран да има фреквентни одзив на звуке који долазе из свих праваца. Модел поседује високу осетљивост, низак ниво буке, подесивот угла врата лутке, и има малу тежину. Врло је корисан при испитивању акустичких промена.

На основу испитивања утицаја буке на човека, акустичких модела, њихове примене као и резултата који се оставрују можемо закључити да је акустика драстично напредовала уз помоћ савремених технологија, разних испитивања као и утицаја на смањење буке уопште.

10. Литература

- [1] М. Радисављевић, М. Миловановић, З. Пантелић-Милинковић: POSSIBLE METHODS FOR REDUCTION OF AUTOMOBILE NOISE BY MEANS OF VIBRO-ACOUSTIC MATERIALS, Монографија поводом 30 година 1975.-2005., стр 154-171, Машински факултет у Крагујевцу.
- [2] З. Пантелић-Милинковић, С. Јовановић, С. Ђурчић: Акустика апсорпција у возилу, XXI Конференција са међународним учешћем БУКА И ВИБРАЦИЈЕ, Тара, 7 – 9 октобра, 2008.
- [3] З. Пантелић Милинковић, С. Јовановић, А. Дишић, З. Марковић: Vehicle's external noise as a parameter for urban ecology, „Транспорт 2009“, Софија, 5-7. новембра, 2009.
- [4] Н. Fastl, Е. Zwicker: Psychoacoustics Facts and Models, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
- [5] З. Пантелић Милинковић, С. Јовановић, З. Марјановић: Развој акустике возила, XXII Конференција са међународним учешћем, Ниш, 20-22. 10. 2010.
- [6] G. Muller, M. Moser: Handbook of Engineering Acoustics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
- [7] Николић М. , Бука, Медицинска књига, Београд Загреб, 1985.
- Аудио системи 3-Основни појмови психоакустике:
- http://bk.docsity.com/sr-dokumenti/Psihoakustika-Audio_sistemi-Skripta-Elektrotehnicki_fakultet_pdf, приступљено 23.8.2015.
- [8] Акустика тема 10-Основне перцепције карактеристике звука:
- http://telekomunikacije.etf.bg.ac.rs/predmeti/te4e/Akustika_10_Karakteristike_percepcije.pdf, приступљено 12.8.2015.
- [9] Ј. Лукић; Предавања из предмета Ергономија моторних возила (предавање 6-<http://moodle.mfkg.rs/mod/resource/view.php?id=5005>), школска 2014/2015.
- [10] Ј. Лукић; Предавања из предмета Ергономија моторних возила (предавање 5-<http://moodle.mfkg.rs/mod/resource/view.php?id=2836>), школска 2014/2015.
- [11] Аудио системи 3-Основни појмови психоакустике:
- http://bk.docsity.com/sr-dokumenti/Psihoakustika-Audio_sistemi-Skripta-Elektrotehnicki_fakultet_pdf, приступљено 23.8.2015.

[12] Физиолошка акустика:

http://www.akademijaumetnosti.edu.rs/images/Vesti_2010_2/Fizioloska_akustika.pdf,
приступљено 26.8.2015.

[13] Head-acoustics:

<https://www.head-acoustics.de/eng/>, приступљено 20.7.2015

[14] Head-acoustics:

https://www.head-acoustics.de/eng/nvh_overview.htm, приступљено 15.8.2015.

[15] K.Genuit:

https://www.head-acoustics.de/downloads/symposium/Vortrag_1_Genuit.pdf, приступљено
21.8.2015.

[16] K.Genuit:

https://www.head-acoustics.de/downloads/symposium/Vortrag_2_Genuit.pdf, приступљено
21.8.2015.

[17]

http://www9.dw-world.de/rtc/infotheque/stereo/stereo_rec1.html, приступљено 29.08.2015.

[18] K.Genuit:

https://www.headacoustics.de/downloads/publications/sound_quality/IJNVN04_The_sound_quality_vehicle_noise.pdf, приступљено 02.10.2015.

[19]

https://www.head-acoustics.de/eng/news_realistic_simulation_of_driving_situations.htm,
приступљено 02.10.2015.

[20] <https://www.head-acoustics.de/eng/>, приступљено 02.10.2015.

[21]

https://www.head-acoustics.de/downloads/eng/application_notes/Equalization_brochure.pdf,
приступљено 02.10.2015.

[22] https://www.head-acoustics.de/eng/nvh_hms_IV.htm, приступљено 03.10.2015.

[23]

http://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_od_buke_u_zivotnoj_sredini.html, приступљено 03.10.2015.

[24]K.Genuit:

https://www.headacoustics.de/downloads/publications/environmental_noise/Acta06_Psychoacoustics.pdf, приступљено 01.10.2015.

[25]

http://telekomunikacije.etf.bg.ac.rs/predmeti/te4e/Akustika_01_Uvod_u_akustiku.pdf, приступљено 01.10.2015.

[26]

<http://www.bksv.com/Products/transducers/ear-simulators/head-and-torso/4100>, приступљено 02.11.2015.

[27] Акустика тема 10- Основни принципи рада чула слуха:

http://telekomunikacije.etf.bg.ac.rs/predmeti/te4e/Akustika_09_Osnovni_principi_rada_cula_sluha.pdf, приступљено 02.10.2015.