

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Инжењерство заштите животне средине

Ниво студија: Мастер академске студије

Предмет: Напредне технике управљања чврстим и опасним отпадом

Број индекса: 333/2017

Марија С. Вуковић

**Техно-економска анализа баријере за заштиту од
буке од рециклираног текстила**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. др Горан Бошковић, ментор**
- 2. др Небојша Јовичић**
- 3. др Владимир Миловановић**

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да истражи могућности коришћења рециклираног текстила за израду звучних баријера поред путева. У првом делу рада потребно је дати преглед карактеристика и физичких параметара звука, као и основних појмова везаних за буку и заштиту од буке. Други део рада односи се на текстил и текстилни отпад, као и карактеристике звучне изолације од текстилних материјала. Фокус рада је израда техно-економске анализе изградње звучне баријере од рециклираног текстила.

Рад треба да садржи следеће целине:

1. Увод
2. Појам буке
3. Саобраћајна бука
4. Звучне баријере
5. Текстил и отпадни текстил
6. Звучна изолација од текстилних материјала
7. Техно-економска анализа
8. Закључак

Препоручена литература:

- [1] Kotzen, B. & English, C., (2009), *Environmental Noise Barriers, A guide to their acoustic and visual design* (2nd ed.), Spoon Press, London
- [2] Bies, D. A. & Hansen, C. H. (2009). *Engineering noise control: Theory and practice* (2nd ed.). New York: Taylor & Francis.
- [3] Soltani, P. & Zarrebini, M. (2012). *The analysis of acoustical characteristics and sound absorption coefficient of woven fabrics*. Textile Research Journal, 82, 875–882.

Крагујевац, 01.07.2018. године

Ментор:
Др Горан Бошковић, доцент

Summary:

This study contains an analysis of the issue of excessive traffic noise, as well as methods of its minimization. The first section deals with the perception of sound, environmental noise and its effects on the population, as well as the basic methods of noise control. It particularly analyses noise protection by using a sound absorbing barrier, with a special overview of its construction methods and material selection. The core of this study is techno-economical analysis of a sound absorbing barrier made of recycled textile materials, as well as a price comparison between such a barrier and a conventional sound barrier made of steel, concrete or wood. It is concluded that the construction of sound barriers made of textile materials may help resolve two existing environmental issues – traffic noise pollution and a large amount of waste that is usually landfilled.

Key words: *traffic noise, sound barrier, textile waste, recycling*

Резиме:

Овај рад садржи анализу проблема прекомерне саобраћајне буке у животној средини, као и методе њене минимизације. У првом делу рада се говори о карактеристикама и физичким параметрима звука, о перцепцији звука, потом о комуналној буци, њеном утицају на људе и о основним методама контроле буке. Рад специјално анализира заштиту од буке у форми звучне баријере, са посебним освртом на начине изградње и одабир материјала. Срж овог рада је техно-економска анализа звучне баријере направљене од рециклираног текстила, као и упоредна анализа овакве баријере са конвенционалном, од челика, бетона или дрвета. Закључује се да изградња овакве баријере може помоћи решавању два велика питања животне средине – загађења саобраћајном буком и велике количине текстилног отпада који се најчешће депонује.

Кључне речи: *саобраћајна бука, звучне баријере, текстилни отпад, рециклажа*

Садржај

1 Увод.....	7
2 Појам буке	9
2.1 Утицај буке на људе	9
2.2 Мониторинг буке и уређаји	10
3 Саобраћајна бука.....	13
3.1 Путеви и заштита животне средине	14
3.2 Мере за заштиту од буке на отвореном простору.....	20
4 Звучне баријере	22
4.1 Подела звучних баријера на основу израде.....	24
4.1.1 Панелни букобрани.....	24
4.1.2 Зидани букобрани	25
4.1.3 Бетонски букобрани изливени на самом месту постављања.....	26
4.2 Акустички аспекти при изградњи зидова за заштиту од буке	27
4.3 Подела зидова за заштиту од буке према материјалу изведбе	34
4.3.1 Дрвени зидови	34
4.3.2 Метални зидови.....	35
4.3.3 Бетонски зидови	37
4.3.4 Зидови од опеке.....	38
4.3.5 Пластични зидови	38
4.3.6 Прозирни или транспарентни зидови	39
4.3.7 Заобљене баријере.....	41
4.3.8 Галерије.....	42
4.3.9 Тунели	42
4.3.10 Баријере на мостовима	43
4.3.11 Баријере и соларне плоче	44
5 Текстил и отпадни текстил	45
5.1 Текстилни отпад у свету.....	48
5.2 Текстилни отпад у Србији.....	49
6 Звучна изолација од текстилних материјала	51
6.1 Утицај густине ткања на коефицијент апсорпције	53
6.2 Ефекат упредености пређе на коефицијент апсорпције звука	57

7 Техно-економска анализа баријере за заштиту од саобраћајне буке	60
8 Закључак	63
9 Литература.....	65

1 Увод

На светском нивоу долази до пораста броја звучних баријера, што је манифест појачане забринутости јавности за животну средину. Како се градови непрестано шире, велики инфраструктурни пројекти, попут изградње путева и железница компромитују мир животне средине. Ради налажења решења за питања која покреће негативни ефекат буке на окружење, владе многих земаља су креирале законодавни оквир, који захтева од одговорних извршних власти да раде на смањењу буке у урбаним, семиуралним, па чак и руралним локалитетима.

Растућа потреба за мирнијим животним окружењем, изазвала је раст тржишта звучних баријера последњих година, како у Европи, тако и у свету. Овај тренд ће се наставити, како пројектанти одговарају на захтеве о заштити животне средине, при чему се морају придржавати побољшаних смерница за пригушење буке и све захтевнијих законодавних одредница.

Акустични и естетски стандарди баријера су на путу побољшања већ више деценија, што је тренд који ће се наставити, а стручна мишљења и добре праксе се деле између земаља које спроводе мере заштите од буке. Ширење добре праксе везане за звучне баријере започето је објављивањем европских стандарда дизајна и имплементацијом програма Европске уније за хармонизацију стандарда буке широм Европе.

Често се проблем саобраћајне буке посматра као феномен 20. века, што је далеко од истине. Римљани су били упознати са нежељеном буком точкова на каменим улицама и тада је на снагу ступио декрет који је забранио употребу кола на улицама Рима ноћу.

Са ширењем градова у Британији за време династије Тјудор, бука је поново сагледавана као проблем. Тада је 1586. године у Лондону усвојен закон, где су изречене казне за било које таљиге или кола која производе звук шкрипања. Од тада проблем буке се не помиње неколико векова до конструкције мотора са унутрашњим сагоревањем, који је дао нову димензију овом проблематичном феномену животне средине.

Британској Влади је било потребно три деценије активног одвијања саобраћаја на улицама да уведе законодавство које контролише буку коју емитују моторна возила. Једноставан чин, усвојен 1929. године, претходио је проналаску било којих средстава за мерење буке: ослањао се на полицајца, а потом на пресуду суда да одлучи да ли је и прекршајно возило било превише бучно. Упркос њеном капацитету за стварање високих нивоа буке, на железницу није утицао ниједан од закона за ограничење утицаја буке све до 1996. године, када је препород железнице и њена понова актуелност, захтевала увођење прописа и обезбеђивање баријера за куће погођене буком од нових пруга.

Звучне баријере у Европи, у данашњој форми, постоје најмање последњих 40 година. У почетку, баријере су садржале зидове израђене од хоризонтално сложених бетонских дасака и често су на њима инсталиране размакнуте вертикалне лајсне, па се може закључити да оне нису задовољавале акустичке и естетске стандарде. За највећи број главних путева широм земље коришћене су земљане кугле и дрвене оgrade за ублажавање буке и остваривање пријатног визуелног утиска. И даље постоји потреба за дизајнирањем таквих баријера, сада названим "баријере за животну средину", у маниру

који предвиђају будуће потребе за заштитом, у складу са савременим естетским решењима и на еколошки свестан начин.

Текстилни отпад је још један проблем животне средине на који ће се тек преусмерити пажња јавности. Тренутно се процењује да текстилни отпад чини 5% укупног отпада, на светском нивоу. Владе држава широм света промовишу механизме поновне употребе и рециклаже, али и даље се велике количине текстилног отпада одлажу на депоније, или се спаљују у циљу добијања енергије.

У овом раду ће се разматрати могућности искоришћења текстилног отпада за израду баријера, ради решења још једног еколошког проблема – прекомерне буке у животној средини.

2 Појам буке

Бука је сваки непријатан и непожељан звук, који се својом јачином и учесталошћу (фреквенцијом) издваја од осталих тонова. Јачина буке се изражава у децибелима (dB). Учесталост (фреквенција) се изражава у херцима (Hz). Људско ухо региструје звук од 20 до 20000 Hz. Испод 20 Hz се чује тзв. *инфразвук*. На фреквенцијама испод 16 Hz се простиру вибрације, које људско ухо не може да рецептује, али их човек осећа чулом додира и равнотеже. Изнад 20 хиљада херца је ултразвук.

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

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

2.1 Утицај буке на људе

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

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

Пораст животног стандарда узрокује миграције становништва ка градовима, што доводи до пораста градског становништва и високо урбанизованих подручја, унутар којих се одвијају активности које неминовно генеришу буку.

Бука изазива стрес и утиче на психосоматско здравље, отежавајући настанак сна. Скраћује дубоку фазу сна и олакшава буђење, што се манифестује повећаном количином стреса, хроничним умором, невољношћу, појавом главобоља и нервозе. При сну, оптимално, бука не би требало да прелази 30 dB (табела 1).

Табела 1 – Гранични ефективни нивои буке присутни у комуналној средини

Граница за ометање сна код трајне буке	30 dB
Граница за ометање сна код возила у пролазу	45 dB
Разговор у просторији: Граница буке за тихи разговор	40 dB
Разговор у просторији: Граница буке за повишени разговор	50 dB
Граница почетка оштећења слуха на радном месту	75 dB

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

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

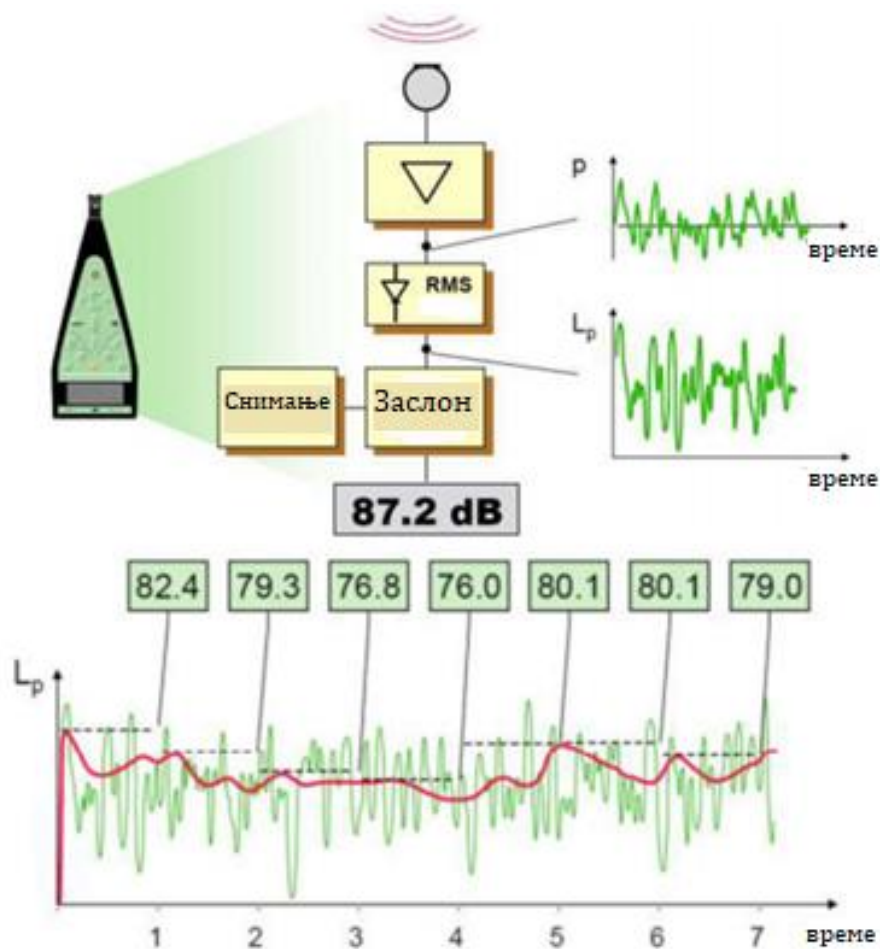
Бука узрокује стрес који се манифестује кроз физиолошке реакције. Ове реакције могу бити пролазне и краткотрајне (пад имунолошког система, поремећај пажње, сужење видног поља итд.), али и *хроничне* (несаница, повишен крвни притисак, поремећај апетита и сексуалних функција, напетост). Овакви поремећаји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

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

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

2.2 Мониторинг буке и уређаји

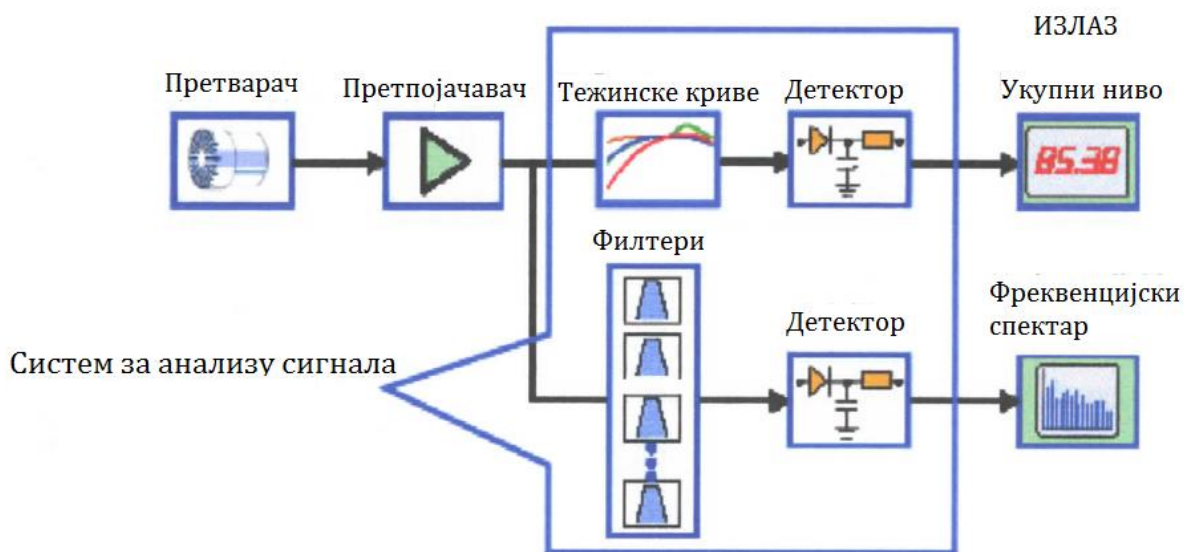
Апарат за мерење јачине звука је уређај за мерење нивоа звучног притиска и његове расподеле у фреквенцијским појасевима од интереса (октаве, терце или друго). Састоји се од микрофона, појачала, филтара, заслона, интерфејса за повезивање на рачунар, дигиталних или аналогних излаза. Приказ мерног система за мерење еквивалентог опсега звучног притиска у времену је на слици 1.



Слика 1 – Приказ мерног система за мерење еквивалентног опсега звучног притиска у времену [1]

Мерач нивоа буке, основни је инструмент за одређивање нивоа буке. Ово је уређај који се може држати у руци и садржи микрофон. Уређај мери ниво буке на следећи начин: Дијафрагма микрофона одговара на промене ваздушног притиска узрокованим звуком. Из овог разлога се овај уређај понекад у литератури на енглеском језику назива *Sound Pressure Level (SPL) Meter*. Ово покретање дијафрагме, односно девијација звучног притиска, која се мери паскалима (Pa), се конвертује у електрични сигнал, односно у волте (V). Мерач нивоа звука мери различите вредности у вези са променом звучног притиска, па се по том принципу ови уређаји међусобно разликују. Да би се добио ниво звучног притиска, улазни сигнал пролази кроз мерни ланац (слика 2).

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



Слика 2 – Мерни ланац [1]

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

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

Постоји могућност осредњавања звучних нивоа по времену мерења (тј. временска интеграција вредности) на начин да се добије еквивалентни звучни притисак (L_{eq}) у посматраном времену (најчешће 15 минута и више). Еквивалентни ниво звучног притиска изражен је једначином 1.1 [2]:

$$L_{eq}[dB] = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{p(t)^2}{p_{ef0}^2} dt \right] \quad [1.1]$$

3 Саобраћајна бука

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

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

Аутомобилски саобраћај представља главни извор буке у градским срединама. Ова бука настаје као резултат буке мотора и трења између точкова и подлоге. Бука мотора и механичка бука, бука издувног и усисног система, кочница, звуци при кретању и стајању, све ово чини свакодневну појаву у урбаним срединама.

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

- вида саобраћаја (да ли је у питању аутомобилски, шински или аеро саобраћај, значајно утиче на ниво емитоване буке),
- удела *теретног* саобраћаја у саобраћају који се одвија,
- нагиба и типа *улице*, габарита објеката и густине насељености,
- подлоге, брзине кретања возила (близина семафора и раскрсница),
- општег техничког стање возила.

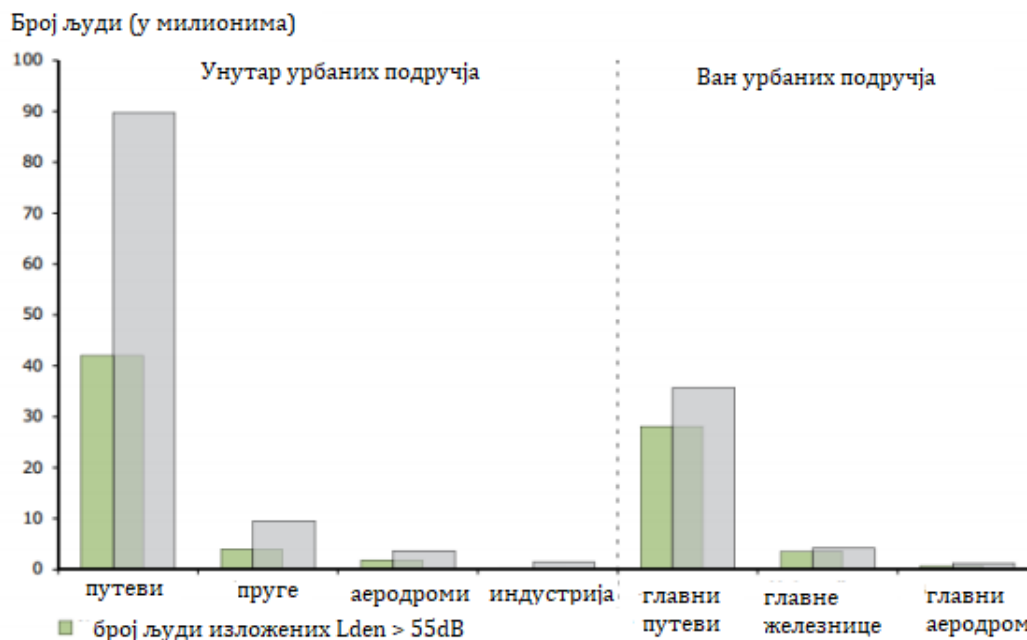
Уколико се возило креће брзином мањом од 50 км/час, доминира бука која се ствара у мотору, док при већој брзини од ове, доминира бука од пнеуматика.

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

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

Оно што се не сме изоставити, јесте чињеница да све већи број људи, како у Европи, тако и у целом свету живи у градовима, и обим саобраћаја стално се увећава. Уједињене нације на основу статистике из 2011. године, када је на европском континенту живело 739,3 милиона становника, од чега 72,9% у градовима, предвиђају да ће 2050. године чак 82,2% Европљана живети у градовима. Овакав податак значи да ће ниво буке унутар

градова расти, јер ће ова маса људи имати свакодневну потребу за транспортом. Број људи који су изложени буци на подручју Европе приказан је на слици 3.



Слика 3 – Графички приказ броја људи у милионима изложених прекомерној буци у Европи [3]

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

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

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

3.1 Путеви и заштита животне средине

Иако није чланица Европске уније, Република Србија је усвојила регулативу која се односи на заштиту од буке, своје законске акте ускладила са европским и прихватила више од сто европских норми из ове области. Упркос томе, у Србији се заштита од

саобраћајне буке, посебно у густо насељеним урбаним срединама, ретко спроводи. Ситуација је потпуно различита у случају прекомерних нивоа буке у насељеним подручјима уз новоизграђене аутопутеве.

Јавна предузећа која управљају аутопутевима поступају у складу са новим циљевима Владе о заштити животне средине од буке. У Србији се уз сваку модерну, новоизграђену деоницу аутопута пројектном документацијом предвиђа заштита од буке, најчешће зидова, који се већ изде на бројним деоницама. Осим на новим саобраћајницама, овакав тип заштите у новије време све више се изводи и на претходно саграђеним деоницама путева и аутопутева који пролазе поред или кроз насеља.

Осим у форми зидова, заштита од буке од саобраћаја може се извести и у облику фасада или насипа (са или без зидова). Ипак, најраспрострањенији облик заштите су зидови који се постављају одмах уз пут. То су линијске грађевине изведене од различитих материјала (пластика, минерална вуна, камен, бетон, дрво, метал, стакло, итд.).

Наравно, није довољно направити било какву баријеру између пута и насеља да би она чинила ефикасно, естетски и технички оправдано решење. Како би заштита од буке била ефикасна, грађевина трајна и једноставна за одржавање, захтеви који се односе на способност рефлексије звука, механичку отпорност и стабилност, отпорност на смрзавање, деловање соли, пожар и сл., морају бити испуњени. Осим наведених захтева баријере за заштиту од буке морају задовољити и естетске критеријуме везане за усаглашавање са околином које ће значајно утицати на одабир врсте баријера односно врсте материјала од којег ће баријера бити израђена.

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

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

Граничне вредности индикатора буке у насељеним местима, према зонама насеља, дате су у Табели 2:

Табела 2 - Граничне вредности индикатора буке на отвореном простору [4]

Зона	Намена простора	Ниво буке у dB (A)	
		За дан и вече	За ноћ
1.	Подручја за одмор и рекреацију, болничке зоне и оправишта, културно – историјски локалитети, велики паркови	50	40
2.	Туристичка подручја, кампови и школске зоне	50	45
3.	Чисто стамбена подручја	55	45

4.	Пословно – стамбена подручја, трговачко – стамбена подручја и дечја игралишта	60	50
5.	Градски центар, занатска, трговачка и административно – управна зона са становима, зона дуж аутопутева, магистралних и градских саобраћајница	65	55
6.	Индустријска, складишна и сервисна подручја и транспортни терминал без стамбених зграда	Не сме прелазити граничну вредност зоне са којом се граничи	

У Приручнику за пројектовање путева, који је издало Јавно комунално предузеће “Путеви Србије”, ради оцењивања и предвиђање буке, возила се деле у две категорије возила:

- лака возила (<3,5 тона нето масе)
- тешка возила (> 3,5 тона нето масе)

Првенствено је потребно доћи до броја и категорије возила ради процене буке, а то су информације које се могу добити на основу података о бројању саобраћаја (аутоматско, ручно) или на основу студије о саобраћајном оптерећењу (за предвиђање буке). У прорачуну се користе просечне брзине возила. Уколико подаци о просечној брзини возила не постоје, може се користити максимална дозвољена брзина вожње на одређеној деоници пута.

Препоручена вредност корекције ψ за израчунавање процењеног нивоа буке за различите врсте путне подлоге, у складу са Препоруком ЕУ комисије (2003/613 / ЕС), приказана је у табели 3.

Табела 3 – Корекција нивоа буке за различите саобраћајне засторе [5]

Врста застора	Корекција нивоа буке		
Порозни застор (ПА)	0-60 km/h	61 – 80 km/h	81 – 130km/h
	-1 dB	-2 dB	-3 dB
Глатки асфалт (бетон или мастикс)	0 dB		
Цементни бетон	+2 dB		
Равна коцка, истрошени бетонски коловоз	+3 dB		
Истрошена коцка	+6 dB		

Мерења нивоа буке потребно је извршити посебним поступцима, ради искључивања спољашњих утицаја, нпр. метеоролошких услова (ветар, температура ваздуха, влага, притисак) и утицаја вегетације.

За заштиту од буке у животној средини и затвореним просторијама, која настаје као резултат минимизације саобраћаја на околним путевима, потребно је спровести следеће мере:

- превентивне мере при просторном планирању подручја уз путеве и при планирању путева,
- саобраћајне мере,
- грађевинске мере на путевима и објектима које се налазе на њима.

Превентивне мере при планирању путева подразумевају изградњу пута најдаље могуће од подручја које би требало заштитити, осигурати уједначен ток саобраћаја, без оштрих кривина и великих уздужних нагиба, планирање трасе без раскрсница и тд.

У грађевинско-техничке мере које се односе на заштиту околине од буке се увршћују мере које се односе на израду саобраћајне заставе, као и баријере за смањење ширења буке.

Приручник за пројектовање путева и подлогу по којој се возила крећу посматра као потенцијално место за решавање проблема буке, па је потребно узети у обзир следеће:

- саобраћајницу је потребно редовно одржавати, нарочито након било каквих ископавања,
- потребно је спречити, тј. уклонити појаву неравнина, степеника, прагова и деформације,
- поклопце за шахтове, као и друге уграђене објекте треба поставити на местима која се у најмањој могућој мери користе за прелаз возила (изван дела где возила пролазе),
- прелази на конструкције или проширења мостова треба да стварају што мање буку и тд.

Основне мере које се примењују за спречавање, односно смањење ширења буке изазване саобраћајем су следећи:

- насипи за заштиту од буке,
- објекти за заштиту од буке,
- насипи на којима се изводе објекти за заштиту од буке,
- стрми насипи/ролирање косина,
- усеци и корита,
- покривени усеци,
- тунели и галерије,
- озелењавање (смањење буке је занемарљиво, да би засад био ефикасан, он мора да буде дубине барем 50 метара).

Пројектовање заштите од буке дели се на:

- пројектовање заштите од буке за нове путеве,
- пројектовање заштите од буке уз постојеће путеве.

Приликом доношења одлуке о врсти заштите од буке, поред услова који се односе на уређење простора, у обзир треба узети и просторне могућности (располагање земљиштем, додатна куповина земљишта) и рационалност мера.

Основни циљ је да се баријером довољне висине и дужине, постигне довољно заклањање вертикалне и хоризонталне линије оптичке видљивости. При одређивању габарита баријере треба узети у обзир смањење нивоа буке које може да се постигне њеним постављањем, а које за зграде у близини путева са густим саобраћајем, обично износи 5-10 dBA.

Приручник упозорава и да је при пројектовању нових путева у свим фазама израде техничке документације потребно узети у обзир загађење околине буком која је изазвана друмским саобраћајем. У процесу израде документације потребно је обезбедити одговарајуће податке ради израде процене утицаја, проценити утицај и израдити одговарајућу техничку документацију.

У основи потребно је узети у обзир правне одредбе које се односе на садржај прописане пројектне документације која се ради у фазама као што су:

- Генерални пројекат,
- Претходна студија оправданости,
- Идејни пројекат,
- Студија оправданости,
- Студија о процени утицаја на животну средину,
- Главни пројекат,
- Извођачки пројекат (када је потребан),
- Пројекат изведеног објекта.

Генерални пројекат

У току израде генералног пројекта нових деоница потребно је узети у обзир предвиђено загађење од буке, а затим и поједине коридоре проценити са становишта утицаја буке на животну средину, односно оптимизовати их тако да проузрокују што мањи утицај на животну средину.

У анализи се одреди број зграда (и становника) и њихово оптерећење буком одређеног нивоа/разреда (нпр. >65, 65, 60, 55, 50, 45 и 40 dB(A)). Резултати би требало да се прикажу табеларно на начин који може бити основа за рангирање појединих коридора.

Претходна анализа утицаја на животну средину обухвата генералне карактеристике заштите од буке на одређеном простору, са наглашеним врстама мера заштите од буке (баријере, звучна заштита зграда, коловозни застори) и предлаже решења која најбоље одговарају одређеном простору.

Идејни пројекат

Приликом припреме процене, која ће представљати основу за припрему студије о процени утицаја на животну средину, потребно је узети у обзир основе из планске и урбанистичке документације, укључујући и граничне вредности индикатора буке за одређене акустичке зоне, и предложити мере у складу са одређеним граничним нивоима.

Процена буке и предложене мере за заштиту од буке, би требало да садржи податке о застору на коловозу, броју трака, осталим изворима буке у близини и сл. Поред тога, требало би да садржи и податке о основним предложеним мерама заштите од буке, о посебно предложеним мерама заштите (мере на проширењима, унутар градских подручја и тд), као и о трошковима изградње ових мера. Процена буке са предлогом заштите у идејном пројекту треба да буде израђена на основу прорачуна у складу са прописном методом. Графички прилози докумената о Процена буке и предложене мере за заштиту од буке су:

- изофоне мапе за $L_{veče}$, $L_{noć}$, L_{dvn} , са и без мера, за плански период од 20 (и 10) година
- ситуациони план са позиционираним и димензионисаним мерама (на одговарајућој геодетској подлози),
- позиција заштите у нормалном попречном профилу,
- подужни профили мера (ако је потребно)
- ситуација зграда за које су предложене мере звучне заштите (фасадних елемената).

Главни пројекат заштите животне средине треба да садржи све прописане елементе, а нарочито:

- основе за пројектовање,
- технички опис конструкција,
- технологију извођења,
- начин контроле уграђених материјала,
- статички прорачун,
- предмет и предрачун радова,
- остало – ако је потребно (хидраулички прорачун, нацрт затварања пута - на постојећим путевима, сађење),
- графички прилози (ситуациона решења, попречни профили, подужни погледи, детаљи),
- ако се планира звучна заштита зграда (пасивна заштита) главни пројекат треба да садржи и Елаборат звучне заштите зграда.

За извођење мера звучне заштите на зградама, у оквиру главног пројекта препоручује се израда *Елабората звучне заштите зграда*, којим се одређују потребне мере за ограничење буке на фасадним елементима зграде.

Извођачки пројекат израђује се за потребе извођења радова градње уколико главни пројекат не садржи разраду детаља потребних за извођење радова. Извођачки пројекат обично израђује извођач радова у складу са технологијом коју нуди.

Пројекат изведеног објекта

Пројекат изведеног објекта подразумева потребна упутства за одржавање конструкција (уколико је потребно), а у случају да је изградња звучне баријере подразумевала садњу биљака, упутство за одржавање садница у почетном периоду раста.

3.2 Мере за заштиту од буке на отвореном простору

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

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

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

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

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

- мере превенције
- мере смањења

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

Мере *смањења* буке се односе на:

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

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

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

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

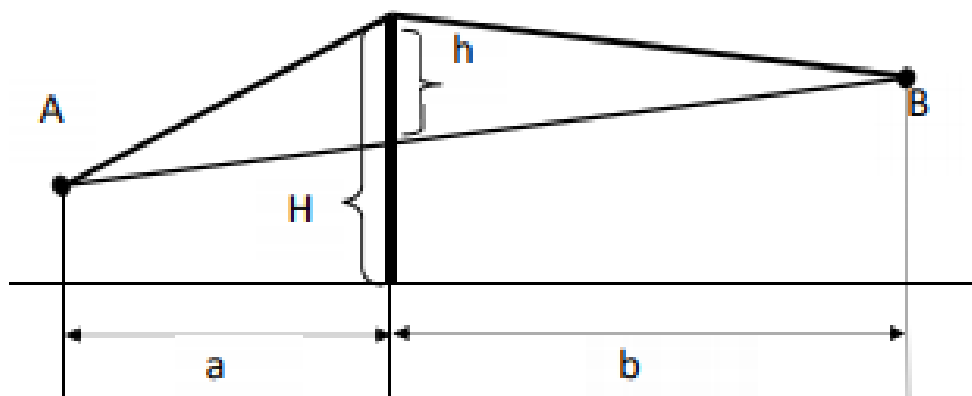
4 Звучне баријере

Звучне баријере се користе у сврху смањења нивоа буке, коју неки извор емитује, у смеру у којем је баријера постављена.

Карактеристике извора, положај и геометрија баријера и првенствено, њена висина, важни су параметри за оцену ефикасности баријере. Из естетских и практичних разлога, није погодно градити баријере веома великих висина. За побољшање ефикасности баријера, потребно је пројектовати нове облике баријера уз услов да се задржи разумна висина баријере, тј. потребна висина како би звучна баријера смањила ниво буке на месту које се штити.

Порастом висине баријере расте и њена цена, а поред тога постоји и грађевински проблем при постављању баријере која мора имати и потребну стабилност.

Ефективна висина h је растојање између врха баријере и тачке у којој се секу баријера и правац који спаја извор звука и посматрача, што је приказано на слици 4. Ефективна висина баријера зависи од висине баријере H , положаја извора буке и положаја места пријема.



Слика 4 – Приказ простирања таласа око врха звучне баријере ефективне висине h , када се звук шири из тачкастог извора A до проматрача B [4]

Постоје три основне врсте звучних баријера. То су насипи за заштиту од буке, зидови за заштиту од буке и комбинације прва два типа.

Насипи за заштиту од буке су израђени од природних земљаних материјала попут земље, камена, стене или шљунка. Ове врсте баријера обично су конструисане од вишка материјала на месту које штите од буке, а извор и доступност таквих материјала су фактори који могу значајно утицати на цену овог вида заштите од буке. Насипи за заштиту од буке заузимају више простора него сами букобрани. Разлог томе је нагиб насипа који мора поступно расти да би се одржала стабилност конструкције. Раст је дефинисан мерењем $m:n$, где је m раст у хоризонталном смеру, а n раст у вертикалном. За већину насипа примењује се однос 2: 1 или 1,5: 1, док за насипе од каменог пораста обично има 1: 1.

Уопштено, постоје два типа акустичних баријера (слика 5):

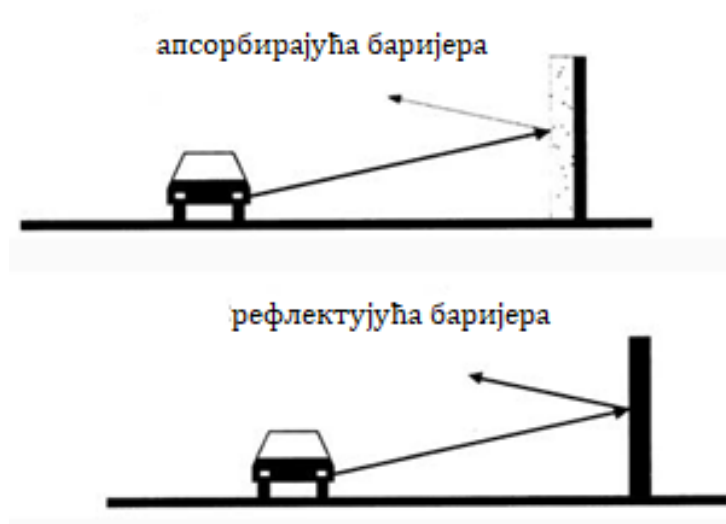
- рефлектујуће,
- апсорбирајуће.

Рефлектујуће имају потпуно рефлексивне особине и звук кроз њих не пролази (врло мали коефицијент апсопрције), постоји само одбијање звучног таласа око горње стране и ивице баријере и због тога треба имати у виду важност њихове висине.

Апсорбујуће баријере, осим карактеристика пригушења звука, имају и апсорпцијске карактеристике и погодне су за постављање у подручје где постоји више рефлексивних плоча које окружују извор.

Акустичне баријере, као нужан услов морају задовољавати захтеве у погледу заштите од буке, а то су: адекватна звучна изолација R_v и адекватна апсорпција звука ΔL_α .

Звучна изолација баријере условљена је потребним смањењем буке којој се излажу заштићени објекти. За звучну изолацију баријера постављен је критеријум да R_v мора бити минимално 24 dB за све врсте баријера.



Слика 5 – Скица апсорбујуће и рефлектујуће баријере [6]

Потенцијал баријере за апсорпцију звука, условљен је потребом за ограничавањем буке на супротној страни од заштићене, а ако тамо постоје и објекти, нпр. возила, које би требало заштитити од буке. Апсорбирајуће баријере по правилу се изводе као *непрозирне*, док рефлектујуће могу бити израђене од непрозирних, али и транспарентних материјала. Прозирне, транспарентне баријере, иако само делимично ограничавају визуру, често се боје или сенче, у циљу смањења њихове транспарентности.

Апсорбујуће баријере садрже елементе од порозних материјала који апсорбују буку. Унутрашњост таквих баријера обично је испуњена мањим робусним материјалима, као што је нпр. минерална вуна, при чему материјал испуне мора бити заштићен одговарајућим фолијама у циљу спречавања његовог пропадања.

4.1 Подела звучних баријера на основу израде

Букобрани, односно зидови за заштиту од буке се могу извести као панелни, зидани, самостојећи бетонски и бетонски ливени на самом месту постављања.

4.1.1 Панелни букобрани

Панелни букобрани састоје се од плоча, односно панела који могу бити дрвени, метални или бетонски и може се направити од једног комада или се састоји из више компоненти на месту постављања. Панели се монтирају између темељних потпорних стубова (слика 6). Основни елементи овог типа баријера су: стуб и елементи који се причвршћују на темељ, панели и елементи којима се панели везују за пултове.



Слика 6 – Панелни букобран [7]

Постоји неколико начина постављања, односно израде основа за стубове:

- армирано-бетонски темељ са стубом усидреним на врх темеља помоћу вијака,
- армирано-бетонски темељ код кога је стуб делимично утопљен у бетонску масу при бетонирању,
- континуирани темељни зид,
- неармирани бетонски темељ са ступом утопљеним на пуну дубину основе,
- дрвени ступови укопани у бушене цилиндричне рупе са каменом испуном.

Код темеља од армираног бетона, где се стуб утапа у бетонску масу, најчешће се користе цилиндрични облици основе, а пруге су израђене од челика или, као и темељ, од армираног бетона. Конструкција основе у облику континуираног темељног зида је најкомплекснија конструкција панелних букобрана, јер захтева највише рада и материјала на месту постављања букобрана. У случају овакве израде, темељ се укопава у земљу до потребне дубине која осигурава довољно чврстоће и отпорност на ударне

струје, а најчешће је део темеља у облику зидова присутан и изнад земље до висине која углавном не прелази 300 mm.

Конструкција неармираних бетонских основа са стубом утопљеним на пуну дубину основе (Слика 7), нешто је једноставнија, јер није потребно инсталирати арматуре. Конструкција темеља изводи се на простору, где се букобран монтира постављањем копања, углавном цилиндричног облика, уметањем стубова у ископ и изливањем бетонске масе.



Слика 7 – Учвршћење стубова и панела, ступ утопљен у бетонску масу

Код дрвених стубова укопаних у бушене цилиндричне рупе са каменом испуном, израда темеља такође се изводи на месту постављања букобрана, а унапред су израђени само делови од дрвета и дрвени панели. У ископ у облику цилиндричне рупе, најпре се учвршћује носећи стуб, затим се центрира, након чега се рупа испуњава каменим материјалом.

4.1.2 Зидани букобрани

Зидани букобрани су израђени од готове опеке или су зидани од готових бетонских блокова. Обе врсте букобрана могу бити зидане на месту постављања ручно или машински, а могу се и унапред произвести у облику блокова који се спајају на месту постављања (слика 8).

У случају зидања букобрана на месту постављања, могуће је постићи већу флексибилност и боље прилагођавање терену на којем се монтира баријера, док је

предност унапред произведених букобрана у контролисаном окружењу већа униформност, боља трајност и углавном мањи трошкови.



Слика 8 – Зидани букобран [7]

Недостатак унапред спремљених букобрана је потреба што се на простору где се постављају мора омогућити приступ радним машинама (дизалице и транспортна возила), како би их било могуће поставити.

4.1.3 Бетонски букобрани изливени на самом месту постављања

Код бетонских букобрана ливених на самом месту постављања, процес изградње укључује:

- копање за подупирач,
- постављање челичне арматуре,
- изливање бетона,
- површинску обраду,
- кондензовање.

Предност оваквих букобрана је у томе што је облик и начин постављања у потпуности могуће прилагођавати терену, што је и разлог што се овакви букобрани најчешће користе на мостовима и вијадукутима (слика 9).

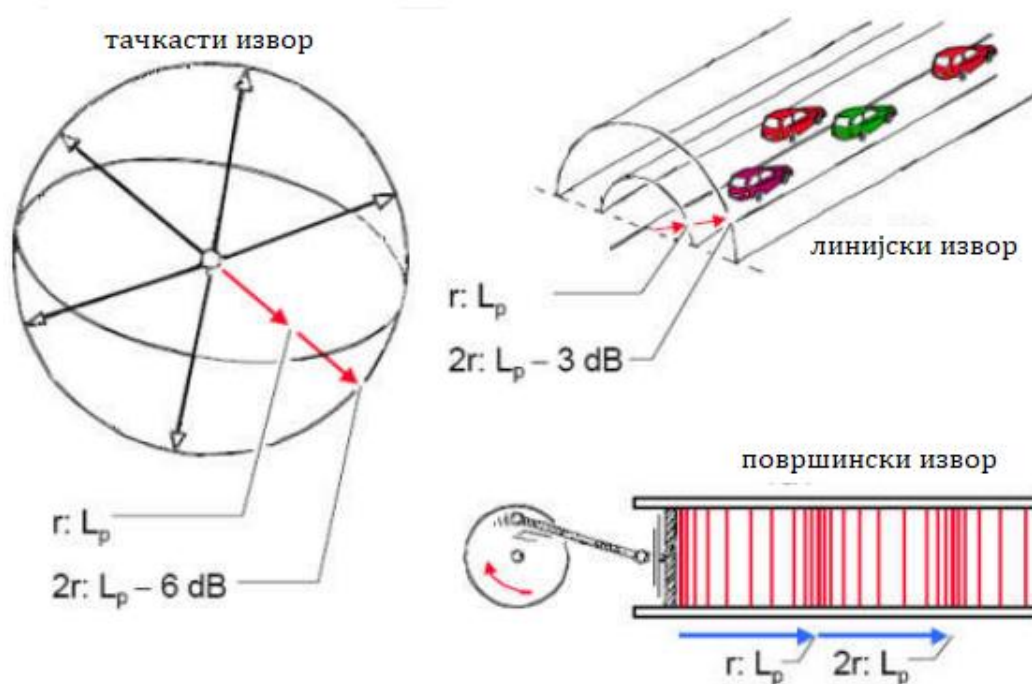


Слика 9 - Бетонски букобрани изливени на самом месту постављања [7]

Њихова додатна предност је и њихова велика структурна чврстоћа и отпорност на оштећења, због чега се, осим саме за заштиту од буке, врло често користе и као подупирачи или зидови за раздвајање транспортних трака из сигурносних разлога.

4.2 Акустички аспекти при изградњи зидова за заштиту од буке

Када се извор звука налази у отвореном простору, звучни талас се од њега може ширити као *тачкасти*, *линијски* или *површински*. Начин на који се звук шири зависи од *геометрије извора* и *начина титирања његове површине*. На слици 10 су приказане неке врсте извора звука у свакодневном животу и начину ширења линија таласа око њих. Уколико је димензија извора звука много мања од таласне дужине тог звука и таласи се у свим смеровима емитују једнако, онда се он може посматрати као *тачкасти извор*.



Слика 10 – Различити начини ширења звучног таласа од извора [2]

Тачкасти извор је најчешћа врста извора код којих се акустичка снага извора распоређује на све веће и веће површине, како се звучни талас одаљава од извора. Интензитет кугластог звучног таласа [W/m^2] се може рачунати према изразу 4.2[2]:

$$I = \frac{P_a}{4 \times r^2 \times \pi} \quad [4.2]$$

где је: P_a - акустичка снага извора [W], која је најчешће позната,

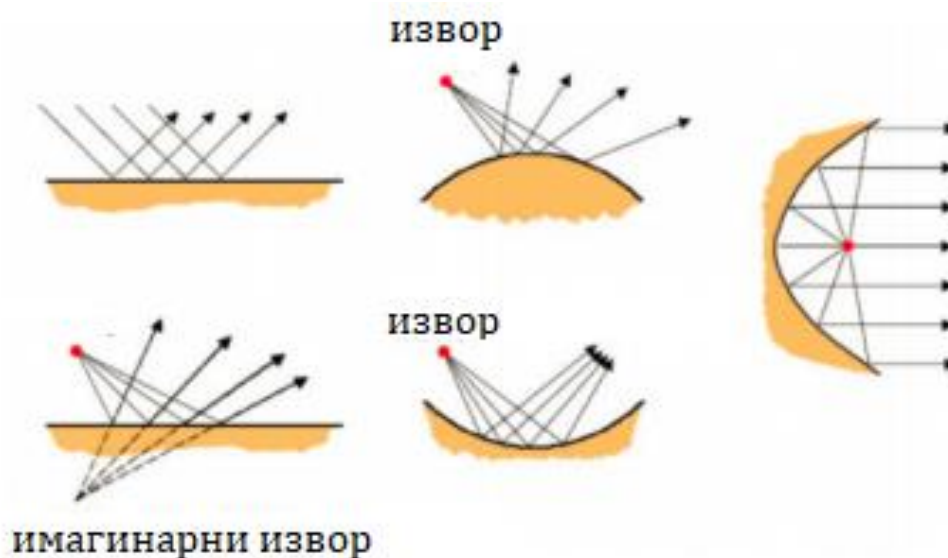
r - размак од извора.

Ваздух има својство пригушивача, те пригушује звучни талас, посебно на високим фреквенцијама. Коефицијент пригушења звучног таласа се обично изражава у dB/m за звучни талас који је на ниским фреквенцијама (100 Hz). Пригушење зависи од влажности ваздуха, температуре и може се израчунати, а за одређене вредности је изражено у табели 4.

Табела 4 - Приказује вредности пригушења у атмосфери при задатим условима на различитим фреквенцијама [2]

Релативна влажност (%)	Температура (°C)	Пригушење у dB						
		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
25	15	0.2	0.2	1.3	2.4	5.9	19.3	66.9
	20	0.2	0.6	1.5	2.6	5.4	15.5	53.7
	25	0.2	0.6	1.6	3.1	5.6	13.5	43.6
	30	0.1	0.5	1.7	3.7	6.5	13	37
50	15	0.1	0.1	0.4	1.2	2.4	4.3	10.3
	20	0.1	0.4	1.2	2.8	5	10	28.1
	25	0.1	0.3	1.2	3.2	6.2	10.8	25.6
	30	0.1	0.3	1.1	3.4	7.4	12.8	25.4
75	15	0.1	0.1	0.3	1	2.4	4.5	8.7
	20	0.1	0.3	0.9	2.7	5.5	9.6	22
	25	0.1	0.2	0.9	2.8	6.5	11.5	22.4
	30	0.1	0.2	0.8	2.7	7.4	14.2	24

Рефлексија и апсорпција звука се појављују уколико звучни талас наилази на препреку, тако да се део звучне енергије апсорбује у њој, а део се рефлектује. На слици 11, приказане су рефлексије таласа где су смерови ширења звучних таласа приказани зрацима. Уколико се рефлексија одвија на неравним плочама, онда је могуће фокусирање звучне енергије у некој тачки простора.



Слика 11 – Рефлексија тачкастог звучног извора [2]

Коефицијент апсорпције показује колики се удео звучне снаге апсорбује у материјалу на који звучни талас наилази, у односу на укупну снагу звучног таласа. За неке материјале који се користе у разним акустичним пројектима, коефицијенти апсорпције у зависности од фреквенције, приказани су у табели 5.

Табела 5 – Коефицијент звучне апсорпције неких материјала [2]

Материјал	Коефицијент апсорпције на фреквенцији [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Блок – без	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,07
Блок – без – префарбан	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Бетонски блок, лаган, порозан	0,36	0,44	0,31	0,29	0,39	0,25
Бетонски под	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02
Стакло	0,25	0,1	0,07	0,06	0,04	0,02
Пуно дрво	0,15	0,1	0,06	0,08	0,1	0,05
Застор, тешки	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Гипсане плоче дебљине 12,5мм	0,05	0,05	0,05	0,03	0,02	0,02
Паркет на бетону	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Минерална вуна дебљине 5 цм директно на бетонску подлогу	0,34	0,52	0,94	0,83	0,81	0,69
Минерална вуна дебљине 5 цм дебљине ваздуха – бетонска превлака	0,36	0,62	0,99	0,92	0,92	0,86

Уколико су коефицијенти звучне апсорпције материјала познати, може се израчунати укупна апсопрција површине A множећи површину сваке плоче (S_i) са коефицијентом звучне апсорпције материјала и плоча (α) према једначини [2]:

$$A = \sum \alpha_i \cdot S_i + A_{ni} \quad [4.2.1]$$

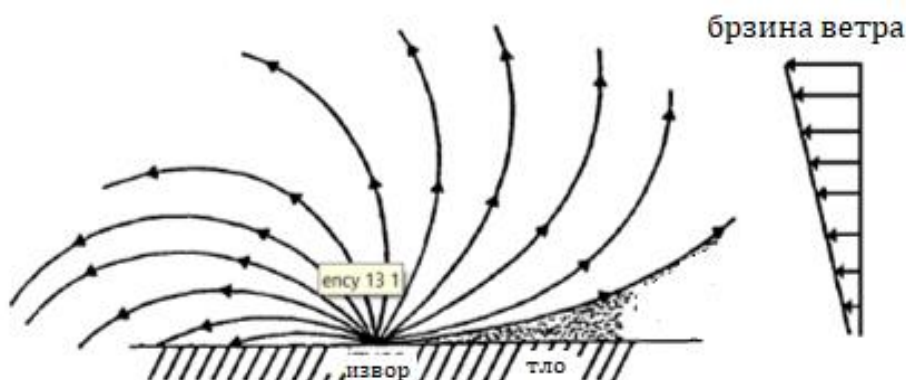
Коефицијент звучне апсорпције материјала зависи од фреквенције и често се из тог разлога користе тежинске криве које вреднују овај коефицијент по разллитим доприносима за различите случајеве.

Распршење или дифузија звука је појава када се звучни талас одбија у различитим правцима због неравнине на површини на којој се налази (слика 12).



Слика 12 – Појава распршења звучног таласа [2]

Појава *увијања* звучног таласа при ширењу настаје због промена атмосферских услова (температура, ветар), па се звучни таласи могу ломити због промене брзине ширења звука (слика 13).



Слика 13 – Појава увијања звучног таласа због ветра и у зависности од њега [2]

Осим досад описаних параметара звучних баријера, потребно је описати тј. дефинисати *специфичну акустичку импедансу*. Специфична акустичка импеданса (једначина 4.2.2) описује особине материјала од којих је звучна баријера направљена. Прорачун комплексне амплитуде притиска и брзине честица назива се специфичним акустичним импедансама Z (Pa/m). У ваздуху је специфична импеданса реалан број, који не зависи од фреквенције [2].

$$Z = \frac{P}{v} = \rho c \quad [4.2.2]$$

У случајевима у којима није могуће занемарити пригушење, као у ваздуху, специфична дужина и модул еластичности треба приказати комплексним величинама. Тада и брзина звука и специфична импеданса постају комплексне величине (једначина 4.2.3 и 4.3.4) [2].

$$c_{ef} = \sqrt{\frac{K_{ef}}{\rho_{ef}}} \quad [4.2.3]$$

$$Z_{ef} = \frac{p}{v} = \rho_{ef} c_{ef} \quad [4.2.4]$$

Импеданса уопштено зависи од *површине материјала, фреквенције и упадног угла*. Ако дође до наглог гушења таласа, онда импеданса не зависи (или зависи незнатно мало) од упадног угла, тј. на један део површине не делује кретање на другом крају површине. Таква површина зове се *локално реагујућа*. У супротном, када нема брзог гушења таласа, онда импеданса зависи од упадних углова, а таква површина зове *проширено реагујућа*. За одређивање специфичне акустичне импедансе неког материјала и доказивање зависности импедансе о паду угла, потребно је проучити неколико посебних случајева.

Равни панел је најједноставнији пример површине за коју треба одредити импедансу. Код таквог панела се претпоставља да су његове димензије веће од таласне дужине звука у ваздуху. Друга претпоставка је да су потпоре (стубови) који држе панел на довољној међусобној удаљености и да не утичу на ширење таласа.

Уз овакве услове једначина за *трансверзално покретање панела* дата је изразом 4.2.5, где је p звучни притисак, K модул еластичности материјала, ρ специфична дужина материјала, $2h$ дебљине материјала и η помак у негативном k – смеру [2].

$$m_s \frac{\partial^2 \mu}{\partial t^2} = -g_s \nabla^4 \mu + p \quad [4.2.5]$$

Брзина трансверзалног таласа у панелу дата је следећим изразом 4.2.6 [2]:

$$c_s = \sqrt{\omega \left(\frac{g_s}{m_s} \right)^{\frac{1}{4}}} \quad [4.2.6]$$

Специфична акустичка импеданса Z , показује реактивни карактер и код виших фреквенцијама веома зависи од упадног угла. Ако је фреквенција довољно ниска, тако да је брзина трансверзалног таласа у плочи знатно мања од брзине звука у ваздуху, онда је специфична акустичка импеданса панела дата следећим изразом, 4.2.7, потпуно реактивна и зависи само од *масе панела* [2]. Овим се доказује да, при брзини таласа на површини која је пуно мања од брзине звука у ваздуху, површина реагује само локално, а импеданса не зависи од упадног угла.

$$Z \approx -j\omega \cdot m_s \quad [4.2.7]$$

$$\omega \ll c^2 \sqrt{\frac{m_s}{g_s}} \quad [4.2.8]$$

У табели 6 су израчунате вредности специфичне акустичке импедансе за најчешће врсте материјала на које се постављају звучне баријере. Ови подаци користе се при симулацији акустичких својстава звучних баријера. Вредности специфичних акустичких импеданси добијене су према претходном изразу, само што су вредности импеданси нормализоване у односу на ваздух. Импеданса тла састоји се од стварног и имагинарног дела. Вредности специфичне акустичке импедансе за различите фреквенције, приказане су у табели 6,

Табела 6 – Вредности специфичне акустичке импеданса тла на које се поставља баријера [2]

Врста тла	Трава		Песак (суви)		Шљунак		Асфалт		Песак (мокри)	
Отпор струјања (Ns/m²)	220000		376000		1648		30000		479000	
Фреквенција (Hz)	Специфична акустичка импеданса (Pa s/m)									
	Re	Im	Re	Lm	Re	Lm	Re	Im	Re	Im
63 000	24,17	29,68	35,71	43,94	1,58	0,83	6,16	6,90	42,66	52,46
100 000	17,35	21,16	25,50	31,33	1,41	0,59	4,64	4,92	30,41	37,40
125 000	14,82	17,97	21,71	26,61	1,35	0,50	4,08	4,18	25,85	31,77
160 000	12,47	15,00	18,19	22,21	1,29	0,42	3,55	3,49	21,63	26,52
200 000	10,70	12,74	15,53	16,86	1,24	0,35	3,16	2,96	18,44	22,52
250 000	9,20	10,82	13,28	16,02	1,20	0,30	2,82	2,52	15,74	19,13
315 000	7,89	9,14	11,31	13,53	1,17	0,25	2,53	2,13	13,38	16,15
400 000	6,75	7,67	9,61	11,36	1,14	0,21	2,28	1,78	11,34	13,56

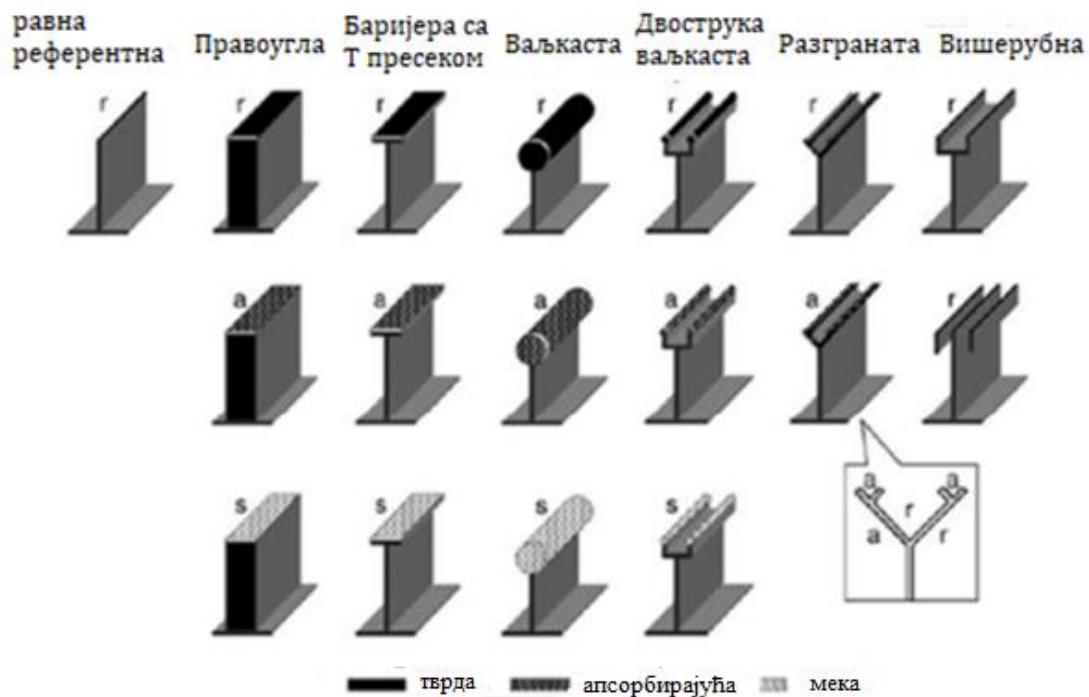
500 000	5,86	6,52	8,28	9,65	1,12	0,18	2,08	1,52	9,74	11,52
630,00	5,08	5,50	7,12	8,14	1,10	0,15	1,91	1,28	8,34	9,72
800,00	4,41	4,62	6,11	6,84	1,09	0,13	1,76	1,07	7,13	8,16
1000,00	3,88	3,92	5,32	5,81	1,07	0,11	1,64	0,91	6,18	6,93
1250,00	3,44	3,33	4,65	4,93	1,06	0,09	1,54	0,77	5,38	5,89
1600,00	3,02	2,78	4,03	4,12	1,05	0,08	1,45	0,65	4,64	4,91
2000,00	2,71	2,36	3,56	3,50	1,04	0,07	1,38	0,55	4,07	4,17
2500,00	2,44	2,01	3,16	2,97	1,04	0,06	1,32	0,47	3,60	3,55
3150,00	2,21	1,69	3,82	2,51	1,03	0,05	1,27	0,39	3,18	2,99
4000,00	2,01	1,42	2,52	2,10	1,03	0,04	1,23	0,33	2,82	2,51

У табели 7 израчунате су вредности специфичне акустичне импедансе за најчешће материјале од којих се конструишу звучне баријере. Вредности импеданси су негативне и имагинарне, а добијене су помоћу претходно наведеног израза 4.2.7. Добијене вредности за импедансу се користе код симулације акустичких својстава звучних баријера.

Табела 7 – Вредности специфичне акустичке импедансе за одређене материјале [2]

	Алуми- нијум	Челик	Унапред ливени бетон	Дрво – четина ри	Дрво - багрем	На лицу места ливени бетон	Поликар -бонат
Специфична тежина елемената (km/m^2)	6,53	10,59	310	26	38	500	15
Фреквенција (Hz)	Специфична акустичка импеданса (10^3 Pa s/m)						
63	-2,58	-4,19	-122,71	-10,29	-15,04	-197,92	-5,94
100	-4,10	-6,65	-194,78	-16,34	-23,88	-314,16	-9,42
125	-5,13	-8,32	-243,47	-20,42	-29,85	-392,70	-11,78
160	-6,56	-10,35	-311,65	-26,14	-38,20	-502,65	-15,08
200	-8,21	-13,31	-389,56	-32,67	-47,75	-628,32	-18,85
250	-10,26	-16,63	-486,95	-40,84	-59,69	-785,40	-23,56
315	-12,92	-20,96	-613,55	-51,46	-75,21	-989,60	-29,69
400	-16,41	-26,62	-779,11	-65,35	-95,50	-1256,64	-37,70
500	-20,51	-33,27	-973,89	-81,68	-119,38	-1570,80	-47,12
630	-25,85	-41,92	-1227,11	-102,92	-150,42	-1979,20	-59,38
800	-32,82	-53,23	-1558,23	-130,69	-191,01	-2513,27	-75,40
1000	-41,03	-66,54	-1947,79	-163,36	-238,76	-3141,59	-94,25
1250	-51,29	-83,17	-2432,73	-204,20	-298,45	-3926,99	-117,81
1600	-65,65	-106,46	-3116,46	-261,38	-328,02	-5026,55	-150,80
2000	-82,06	-133,08	-3895,57	-326,73	-477,52	-6283,19	-188,50
2500	-102,57	-166,35	-4869,47	-408,41	-596,90	-7853,98	-235,62
3150	-129,24	-209,60	-6135,53	-514,59	-752,10	-9896,02	-269,88
4000	-164,12	-266,16	-7791,15	-653,45	-955,04	-12566,37	-8796,46

Проблем висине баријере се може решити додавањем елемената на врх баријере. Тако се могу добити различити облици баријера као што су равне, кружне, I и T баријере, итд. На слици 11 приказан је равни букобран и неколико других типова букобрана добијених додавањем облика (капа) на врх таквог равног букобрана, при чему су капе направљене од различитих материјала. На слици 14 се види да постоји велики број букобрана којима је потребно одредити акустичке карактеристике, с тим да у овом случају није измењен облик доњег дела букобрана, нити материјал од кога је израђен.



Слика 14 – Пример неколико типова звучних баријера [5]

Три основна параметра којима се описује баријера су:

- унешени губици (*Insertion Loss - IL*),
- пренети губици (*Transmission losses*),
- коефицијент апсорпције баријера.

Звучне баријере могу се дефинисати као звучно непрозирне препреке између извора звука и посматрача преко којих или око којих се шири звук. Код реалних баријера звук шири и кроз баријеру, што се обично занемарује, јер је удео звука који пролази кроз баријере знатно мањи од удела који прелази преко баријере. Звук који прође кроз баријеру тј. *преносени* губитак мора бити најмање 10 dB нижи од нивоа звука који пређе преко баријере. Постављањем звучне баријере, ниво буке ће се минимизовати првенствено због удаљености од извора и апсорпције ваздуха, а још више због саме звучне баријере.

За опис смањења нивоа буке често се користи и параметар *унешених* губитака, који се дефинише као смањење нивоа буке, услед инсталације звучне баријере (*Insertion Loss*). Ова величина представља разлику између звучних притисака p_p и p_n који се мере на

месту посматрача пре и након постављања звучне баријере, уз исту конфигурацију тла и положај извора и пријемника, а рачуна се према следећем изразу 4.2.9 [2].

$$IL = -20 \log \left(\frac{p_p}{p_n} \right) \quad [4.2.9]$$

Управо се овај параметар обично користи за упоређивање ефикасности различитих баријера.

Параметар смањења нивоа буке због постављања звучне баријере, *Insertion Loss*, зависи од облика баријере и материјала од ког је направљена, такође од фреквенције, врсте извора звука, положаја звучне баријере у односу на извор и посматрача и апсорбцијских својстава земље на обе стране звучне баријере. Како ефикасност баријера директно зависи од фреквенције звука који се шири преко ње, тако и параметар IL зависи од фреквенције. Зато се уводи параметар просечног смањења нивоа буке (*Mean Insertion Loss*) који се дефинише као аритметичка средина смањења нивоа буке за вредности терцних појасева у подручју у којем је битна ефикасност баријере, односно од 100 Hz до 4 kHz.

4.3 Подела зидова за заштиту од буке према материјалу изведбе

Изградња букобрана изводи се од различитих материјала. Могуће су конструкције букобрана од само једног материјала, али чешће су конструкције букобрана од више различитих материјала. Избор материјала зависи од неколико основних фактора:

- акустичких карактеристика,
- врсте и нивоа извора буке од којих штити неки простор,
- механичких особина,
- естетских захтева на обе стране баријере,
- законске регулативе,
- трошкова инвестиције у заштиту од буке на некој просторији.

4.3.1 Дрвени зидови

Дрво се у неким европским земљама врло често примењује као материјал за израду зидова за заштиту од буке. Овакве баријере су сличне високим баштенским оградама, а својим се дизајном у руралним подручјима добро уклапају у околину. Ређе се изводе у урбаним срединама, иако се и тамо могу добро уклопити у окружење. Типично је да се често изводе у континенталним подручјима него на приморју, где превладавају камени материјали.

Уколико се примењују у градовима у непосредној близини стамбених и пешачких зона, требало би да буду природних и светлих боја како не би створили мрачну зону која изазива неугодност. На таквим местима дрвени зидови се комбинују са транспарентним, чиме се омогућава боља осветљеност и видљивост. У комбинацији са гуменим материјалима чине врло добар систем за апсорпцију звука. Дрвене зидови нису баријере чија се поставка препоручује на вијадуктима и мостовима. На тим местима, они делују неподесно, остављајући клаустрофобичан утисак без обзира на детаље који се на њима изводе. При томе, требало би истаћи да они на таквим местима задовољавају све

акустичне карактеристике, али се не уклапају у бетонску или челичну конструкцију објекта.

Дрвене зидове би требало избегавати и у случају када се због акустичних својстава захтева да звучна баријера (цела или њен горњи део) буде закривљена. Дрвени зидови морају бити равни. Уколико су закривљени према путу, због непрозирности, возачу се ствара утисак суженог простора. Баријере овог типа, изведене на дужим потезима, монотоне су и на тим местима их треба комбиновати са транспарентним врстама баријера, озеленити или улепшати на било који начин. Један дрвени букобран је приказан на слици 15.



Слика 15 – Дрвени зидови за заштиту од буке [8]

Баријере на вијадуктима и мостовима би са визуалног и естетског гледишта требало градити градити као што једноставније, али би исто тако требало да одражавају карактер околног пејзажа. Управо је ово главни узрок коришћења транспарентних материјала на овим објектима.

4.3.2 Метални зидови

Метални зидови се најчешће изводе од нерђајућег челика или алуминијума, а исти материјали се најчешће користе и за израду носача баријера направљених од других материјала.

Овај тип баријера углавном је апсорбујући, иако постоје и оне које су изведене као рефлектујуће. Најчешће су пројектоване тако да им је предња страна обложена перфорираним металним, обично алуминијумским плочама, а њихова задња страна је од неперфорираних, профилисаних челичних или алуминијумских плоча. Унутрашњи простор овакових зидова испуњен је минералном вуном или другим апсорбујућим материјалом.

Примена ових баријера је врло честа, а највише их је изграђено у Немачкој. У многим случајевима, њихова једноставна метална површина је бојена у комбинацију светлијих и тамнијих зона, а често се њихова монотонија разбија озелењавањем. У климатским подручјима са високим температурама ваздуха, садњу вегетације треба избегавати јер ће се тешко одржати поред топлих металних плоча.

Метални зидови се могу бојити у широком спектру различитих боја. Сложенији дизајн са различитим додацима се чешће изграђује у урбаним срединама у које се боље уклапа него у руралним подручјима. Челични панели често су у комбинацији са транспарентним панелима као врло добар рефлектујући систем. Пре неког времена су се, због своје мале тежине алуминијумске плоче значајно више изводиле на мостовима и вијадуктима, али данас су их потиснуле све квалитетније транспарентне плоче израђене од пластике или стакла. Један метални зид за заштиту од буке изгледа као на слици 16.



Слика 16 – Метални зидови за заштиту од буке [9]

Примењују се код потпорних зидова и на улазу у тунеле, где су део укупног архитектонског концепта. Модерне баријере овога типа данас се углавном раде од алуминијума. То су високоапсорбујући панели који се састоје од минералне вуне, ограничени танким перфорираним алуминијумским плочама. Изводе се као једностран или двострано апсорбирајући или врло ретко рефлектирајући панели. Рефлектујући панели се најчешће изводе у комбинацији са транспарентним плочама. Готови се панели допремају на градилиште и врло једноставно уграђују између челичних ступова, најчешће и профила.

Коришћење звучних баријера као носача за соларне плоче се покушава у неколико европских земаља. Иако је у овом тренутку производња соларне енергије скупља него производња електричне енергије на конвенционалан начин, треба очекивати да ће трошкови с напредовањем технологије знатно смањивати.

4.3.3 Бетонски зидови

Бетон је данас један од најраспрострањенијих конструкцијских материјала и као такав се у великој мери користи и за израду зидова за заштиту од буке. Изводе се у целости од бетона или у комбинацији са неким другим материјалом. У неким земљама попут САД-а готово пола изграђених баријера је од бетона, и разлог је потпуно разумљив. Ако је бетон квалитетан, прописно уграђен и чуван, обезбеђује се трајна баријера која ће кроз дуг временски период добро поднети температурне осцилације, Сунчево зрачење, деловање влаге, леда и соли.

Бетонске баријере се обично изводе у два начина:

- *префабриковане* (бетонске плоче се производе у контролисаним условима у фабрикама и испоручују се на месту уградње),
- *баријере које се изводе на лицу места.*

Равне и глатке површине често чине бетонске баријере тамнима и без сјаја и треба их избегавати коришћењем профилираних плоча које формирају облик и текстуру површина. Ребраста или наборана површина (слика 17) и са акустичког је гледишта значајно боља него равна и глатка.



Слика 17 – Уградња унапред припремљених бетонских баријера [10]

Масивне бетонске баријере без вегетације и дизајнерских додатака (прозирних делова или украсних детаља), требало би избегавати, јер су монотоне. Апсорбујуће бетонске баријере се уопштено могу поделити у два типа:

- бетонске баријере са дрвеним влакнима - дрвобетонске баријере,
- бетонске баријере грануларних (грануларних) структура.

Оба типа чине плоче израђене у централним постројењима, у одређеној боји и величини које се постављају између челичних носача. За њихову израду користи се отворена структура бетона са различитим додацима.

4.3.4 Зидови од опеке

Опека се често користи за изградњу баријера, јер се у одређеним срединама добро уклапа у околину. Зидови од опеке могу бити рефлектујући и апсорбујући. За рефлектујуће се користе пуне, док се за апсорбујуће користе перфориране опеке различитих димензија. На слици 18 је приказан зид од опеке за апсорпцију буке.



Слика 18 – Зид од опеке за апсорпцију буке [11]

Овакви зидови постављени до пута стварају утисак стандардног зида од опеке. Зидови се зидају ручно, због чега је њихова израда дуготрајна. Опеке у различитим типовима зидова могу имати и декоративну функцију, формирајући одређени патерн. Употреба различитих боја често позитивно утиче на укупни естетски доживљај зидова од опеке.

Овај тип зидова за заштиту од буке се учесталије изводи у континенталним подручјима, јер су на приобаљу изложени агресивном деловању морске воде, која негативно утиче на опеку и на испуну која их повезује. Звучне баријере од опеке су боље решење у односу на бетонске блокове, који остављају утисак хладноће.

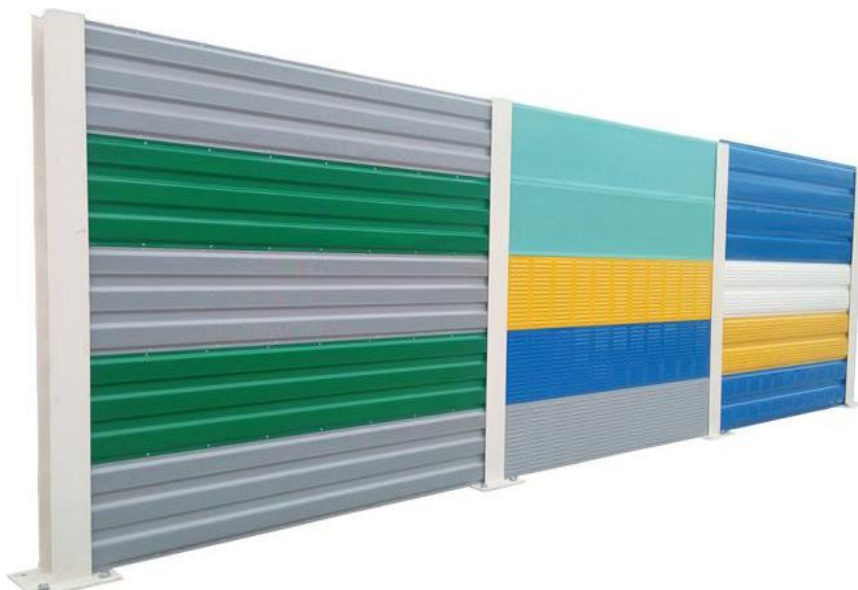
4.3.5 Пластични зидови

Употреба пластике данас је веома распрострањена, јер је лако производити, обликује и примењује у различитим формама и облицима. Пластичне баријере се у највећој мери изводе од пластичних плоча врло мале тежине, али велике отпорности и чврстоће. Руковање оваквим плочама је једноставно и може се уградити у готово свим условима.

Пластика обично код људи асоцира на снажне боје и инвентивне облике, међутим, такве баријере не изгледају увек ексцентрично или необично, јер могу бити пројектоване тако да својом површином и бојом мењају изглед дуготрајних материјала. Често, овакве баријере изгледају као алуминијске или пресвучене челиком.

Недостатак коришћења пластичне баријере је њихова запаљивост, док су гасови који настају при њиховом сагоревању штетни и токсични. Пепео који остаје након пожара

такође је веома штетан за околну земљу и воду. Неки пластични материјали се при великим температурним склони промени, односно сакупљању и стварању отворених пукотина о чему треба водити рачуна приликом пројектовања. Зид од пластике за заштиту од буке, приказан је на слици 19.



Слика 19 – Пластични зидови за заштиту од буке [12]

Ултраљубичасти зраци могу изазвати смањење чврстоће и отпорности панела као и деградацију његове површине. Да би се то спречило, при производњи се додају додаци против штетног деловања таквих зрачења. Ове су баријере врло осетљиве и на механичко оштећење, а оштећени и уништени делови се потпуно морају заменити. У многим случајевима пластичне баријере изводе се у комбинацији са транспарентним или неким другим баријерама.

4.3.6 Прозирни или транспарентни зидови

Прозирни зидови за заштиту од буке још називају и транспарентним, а њихова главна карактеристика је да делимично или потпуно пропуштају светлосне зраке и омогућавају поглед ка окружењу. Замислити данашње модерне светске метрополе без баријера овог типа је готово немогуће. Израђене су од стаклених плоча (ламенираног, очврслог или армираног стакла) или од пластике (акрилне или поликарбонатне плоче, плексигласа). Ови материјали због своје визуалне неутралности имају мали утицај на изглед простора и могу се користити на већини локација. Управо њихова прозирност је главни разлог због чега се данас само овај тип баријера изводи на објектима попут мостова и вијадуката. Због своје прозрачности најбоље се уклапају у укупан изглед таквих конструкција. Такође, од ових материјала могу се изградити баријере врло великих висина које због своје транспарентности неће оставити утисак високе неприродне препреке.

Акрилне и плоче од плексигласа могу се лако обликовати и на тај начин одговорити на комплексне естетске захтеве. Могу се бојити док се стаклене нијансирају и гравирају.

Битан чинилац код ових баријера је отпорност на вандализам. Наиме при покушају оштећења, стакло ће лакше бити сломљено, али ће акрилна плоча лакше бити изгребана. Данашње, новије плоче од плексигласа, изводе се са различитим врстама ојачања и приликом динамичких удараца остају неоштећене, или на месту изванредног удара пуцају, али остају компактне и повезане. Као и код пластичних баријера, оштећени и уништени делови се не могу санирати, већ их је потребно заменити у потпуности.

Ове баријере су често мета разноврсних графита, што се решава танким антиграфитним премазом приликом производње плексигласа. Прозирна, односно транспарентна баријера је приказана на слици 20.



Слика 20 – Прозирна звучна баријера [13]

На местима где је потребан потпуно неискривљен поглед кроз баријеру, армирано стакло представља бољи избор од осталих транспарентних материјала. Иако оба материјала омогућавају продор светла, тамо где је осветљеност од велике важности, у прошлости се преферирала инсталације стакла. Међутим, данас је коришћењем плоче од плексигласа успешно решен и тај проблем.

Прозирне се баријере често изводе у комбинацији са другим баријерама, као делови који ће разбити монотонију неког једноличног материјала, као отвори који ће пропуштати светлост или као делови, који ће омогућити бољу прегледност и сналажење возача у простору. Изведене као горњи део баријере од неког другог материјала, чине баријеру субјективно значајно нижом и визуално прихватљивијом. Проблеми са птицама које због визуалне неутралности или прозирности баријера налећу и забијају у њих, решава се тако што се плоче нијансирају бојама или изводе на различите начине, од различитих узорака, који указују на присуство баријере. Прозирне баријере у већини случајева су рефлектујуће и требало би их избегавати на местима где рефлексија звука делује штетно на становнике.

У урбаним срединама, због недостатка често скупих градских простора и наглашене бриге о уклапању у простор, избор оптималне заштите од буке није једноставан. Често, чак и за делимично решење ове проблематике није довољна примена само једног вида заштите, већ комбинација више мера.

При пројектирању прозирних баријера у градским срединама потребно је водити рачуна не само о изгледу баријера из даљине, већ и изблиза, како се пешаци крећу свакодневно у њиховој непосредној близини. Стога морају бити естетски обликоване, али пре свега морају имати довољно детаља и узорака да би биле видно интересантне. Естетском препознатљивошћу значајан допринос могу дати добро обликовани стубови, који су важни код свих врста баријера, али посебно код транспарентних, јер истичу у односу на прозирне плоче. Стубови својом бојом и обликом пружају потребну тежину визуалном карактеру баријере.

Пластичне баријере су осетљиве на ултраљубичасто зрачење због чега могу постати мутне. Зато их је потребно заштитити додавањем адитива у производњи или касније премазати танким UV заштитним слојем. Стаклене баријере нису или су врло мало осетљиве на таква зрачења.

Надаље, проблем код прозирних баријера може представљати заслепљивање возача. Како би се задржала прозирност ових баријера, потребно их је чешће чистити, јер статички електрицитет погодује задржавању прашине и других нечистоћа на површини. Њихов највећи недостатак је цена, која може бити 10-20 пута већа у односу на неке друге врсте баријера.

4.3.7 Заобљене баријере

У великим урбаним срединама где брзе саобраћајнице пролазе у близини насеља, улога баријера је да заштити од буке објекте већих висина смештених у непосредној близини саобраћајнице. Овакви захтеви упућују на потребу примене баријера већих висина. Високе баријере (макар биле и транспарентне) нису примерене како с грађевинског аспекта (проблем стабилности), тако нису ни у складу са урбаном архитектуром. Проблем се решава тако што се горњи део баријера заобли према саобраћајној траци (слика 21).



Слика 21 – Заобљена баријера [14]

Оваквом интервенцијом, горњи део баријере је знатно ближи извору звука, него што је то случај са вертикалном баријером, а тиме се повећава висина зона иза баријере коју она штити. Овај облик баријере изводи се од метала (углавном алуминијума) уколико су потребне апсорпционе особине или од транспарентних материјала уколико се формирају рефлектујуће особине.

4.3.8 Галерије

Галерија је заправо заобљена баријера која у потпуности покрива ивице пута, пружа се преко саобраћајних трака, које се практично смештају у тунел (слика 22). Такав облик даје јој значајно боља акустичка својства у поређењу са обичним заобљеним баријерама. Доњи се део баријере изводи углавном од метала (алуминијум), а горњи мора бити искључиво од транспарентних материјала како би део испод ње био довољно осветљен и прозрачан.



Слика 22 – Галерија за заштиту од буке [15]

4.3.9 Тунели

Гледано са акустичког и визуелног становишта, тунели представљају најбољи облик заштите од буке. Међутим, тунели су уједно и најскупљи облик заштите, што је и главни узрок њихове ограничене употребе. Изводе се у зонама које су посебно осетљиве на буку или на местима где саобраћајнице пролазе уз високе стамбене објекте (слика 23).

Тунели се граде у урбаним зонама где је цена земљишта врло висока и најделотворнији су начин заштите од буке. Ипак ова мера се ретко примјењује, будући да су цене грађења, одржавања, расвете и вентилације врло високе. На улазу у тунеле зидови су углавном обложени апсорбирајућим панелима како би се смањило распрострањање буке у околину. Облагање зидова панелима нашло је велику примену на улазима и излазима из подвожњака који су више заступљени у урбаним срединама. Наиме, облагањем зидова апсорбирајућим панелима ниво буке се може смањити и до 10 dB.



Слика 23 – Тунел за заштиту од буке [16]

Углавном се изводе од металних и транспарентних материјала и морају бити пројектоване тако да спрече ехо звука који се ствара у тунелу. Уколико је одјек звука значајних размера, потребно је користити апсорбујуће материјале као облоге у тунелима. Најбоље је користити алуминијумске перфориране плоче, које садрже минералну вуну или неки други апсорбујући материјал.

Тамо где теренске прилике то дозвољавају, тунели се копају испод нивоа земље, док се простор изнад може користити за неке друге садржаје, али у већини случајева када служе сврси заштите од буке, они су изнад земље.

4.3.10 Баријере на мостовима

Баријере на вијадуктима и мостовима би са визуалног и естетског гледишта требало да буду што светлије и сведеније, али и да одражавају карактер околног пејзажа. Управо то је главни разлог коришћења транспарентних материјала на овим објектима (слика 24).



Слика 24 – Баријере на мостовима

Надаље, дизајн звучних баријера на мосту или вијадукту би требало ускладити са основном конструкцијом. Плоче би требало међусобно повезати, као и за конструкцију, како не би попустиле у случају налета возила. Често се на овим објектима изводи заштита од буке у облику затвореног или полузатвореног тунела.

4.3.11 Баријере и соларне плоче

Коришћење звучних баријера као носача за соларне плоче у фокусу је у неколико европских земаља. У овом тренутку, производња соларне енергије на овај начин, скупља је него производња електричне енергије на конвенционалан начин, иако се очекује да ће трошкови са технолошким напретком знатно падати. Не узимајући у обзир трошкове, коришћење звучних баријера као носача соларних плоча показало добром идејом. Једна оваква баријера је приказана сликом 25.



Слика 25 – Баријера са уграђеним соларним плочама

Ипак, у том случају би њих требало поставити тамо где их вандали не би могли оштетити, а соларне ћелије требале би морале бити дизајниране као интегрални део баријере, а не као додатак. Тако добијена електрична енергија у урбаним подручјима могла би се користити за осветљивање неког објекта или саме баријере или за напајање динамичне саобраћајне светлосне сигнализације.

Типови баријера које се најчешће сусрећу на нашим аутопутевима су: дрвени зидови, транспарентни зидови, дрво-бетонски зидови, алуминијумске баријере и баријере израђене од габиона, камена или као земљани насипи.

5 Текстил и отпадни текстил

Текстил (тканина) је еластични материјал састављен од ситних влакана која чине предиво. Предиво се производи тако што се сирова вуна, памук или други материјал упретају и мотају на точак да би се произвели дугачки канапи предива. Текстилна индустрија употребљава природна и синтетичка влакна како би ткањем или плетењем произвела тканине за одећу, намештај или индустрију. Процес добијања текстила обухвата сортирање, избељивање, бојење након чега се одлази у предioniце где се претвара у чврст непрекидан конац.

Глобална потражња текстилних производа се стално повећава, а овај тренд ће се вероватно наставити, услед пораста становништва и економског развоја. У међувремену, текстилна индустрија се суочава са огромним изазовима животне средине и ограничених ресурса. Шездесет и три посто текстилних влакана потичу од петрокемикалија чија производња и животни циклус значајно утичу на емисије угљен-диоксида (CO_2). У преосталих 37%, доминира памук (24%), биљка која је повезана са исцрпљивањем воде – као неславан пример служи драстично смањење површине Аралског мора - и интензивном употребом пестицида. Међутим, што се процес текстила дубље сагледава, на видело излазе све већи проблеми. Процеси мокре обраде, бојење, завршно прање, штампање слика и сл. представљају велике изворе различитих полутаната, а при том се и плетење и ткање најчешће ослањају на коришћење фосилних горива чиме се додатно оптерећује животна средина, генерисањем чврстих честица и угљен – диоксида. Дакле, текстилна индустрија се суочава са пар питања животне средине:

- емисија гасова стаклене баште,
- коришћење воде,
- токсичне хемикалије,
- отпад.

Производња памука уништава пољопривредно земљиште и загађује водотокове. Око 22,5% свих инсектицида и 10% свих пестицида, који се троше на годишњем нивоу у свету, се користе за узгој памука (Слика 26).



Слика 26 – Прскање памука пестицидима [18]

Подаци кажу да производња једне памучне мајице захтева 150 грама пестицида. Пестициди предстаљају опасност за животну средину јер продиру у подземне воде, трују птице, пчеле и друге животиње, пољопривреднике и индиректно све нас. Након што памук уђе у производне процесе текстилне индустрије његов утицај на животну средину је још већи.

Претпоставља се да је више од милион тона текстила бачено на депоније сваке године. Већи део тог отпада потиче из домаћинства. Текстил чини око 4% садржаја канте за одлагање отпада. Око 50% текстила који се одбаци погодан је за рециклажу, али се само мале количине заиста поново употребе или рециклирају. Поред домаћинства, текстилни отпад настаје и у индустрију производње влакана, производње одеће, продаји и сл.

Овај отпад представља велики потенцијал за поновну употребу и рециклажу. У свету постоји све већа тражња за одбаченим текстилом и одећом, како за рециклажу тако и за поновну употребу. Посматрани као ресурс ови материјали нуде велики потенцијал за рециклажу и зараду.

Рециклирање текстила и одеће је потенцијално корисна активност од еколошких, социјалних и економских гледишта, за разлику од депоновања или коришћења енергије. Пошто градови све више преусмеравају друге токове великог количинског отпада, као што су органске материје, рециклажа старих одела названа је следећа граница за градове који желе да смањују чврсти отпад.

Главна предност активности рециклаже текстила је прилика за поновну употребу одеће. Кроз поновну употребу одеће и текстила, може се избећи загађење и енергетски интензивну производњу нове одеће. Поред тога, одећа која се не може поново употребити може се преправити у производе као што су крпе или се рециклирају у тканину или други материјал за прераду.

Већина западноевропских држава свој отпадни текстил предају у банке одеће. Оне прикупљају отпадни текстил који се даје бескућницима, у хуманитарне сврхе или шаље у земље у развоју. Око 70% отпадног текстила предатог у банке одеће се поново употреби за одећу, док се неодговарајући текстил продаје фабрикама ради додатног третмана.

Поновна употреба исслужених текстилних производа и текстилног индустријског отпада заслужује знатно већу пажњу од оне која јој се тренутно посвећује. Синтетички материјали (вештачка влакна) се веома споро разграђују, док разградњом производа од вуне настаје метан. Рециклажа текстила смањује потребу за даљим искоришћавањем сировина, мање се загађује животна средина, штеди се енергија и простор на депонијама.

Производња одеће се мора држати под контролом, како би ова индустрија била одржива и у складу са прописима о заштити животне средине. Ради постизања оваквих циљева, потребно је спровести низ мера, везаних за промоцију поновне употребе и рециклаже.

Због изазова које производња текстила намеће, као и због одговора на њих, који лежи у рециклажи и поновној употреби, текстилни отпад се помера на горе у хијерархији отпада под Европској Директиви о отпаду. Повећана поновна употреба и рециклажа текстила би потенцијално могла смањити производњу нових текстилних влакана док се у случају

поновног коришћења избегавају инжењерски процеси надаље у току животног циклуса текстилног производа чиме се смањује утицај на животну средину. Потенцијални бенефити различитих система поновног коришћења текстила и рециклаже, за животну средину процењене су у академској литератури, користећи методе попут процене животног циклуса (LCA – *Life Cycle Analysis*).

Поновна употреба текстила се односи на различите начине за продужење века трајања текстилних производа преношењем на нове власнике, са или без претходне измене (попут крпљења). Ово се, на пример, може учинити изнајмљивањем, трговином, заменом, задуживањем и наслеђивањем и сл.

Рециклажа текстила, с друге стране, најчешће се односи на процесирање отпадног или неупотребљивог текстила ради искоришћења у новим текстилним или нетекстилним производима.

Начин рециклаже текстила може бити:

- механички,
- хемијски,
- термални.

Међутим, у пракси је готово немогуће окарактерисати третман текстила као манифест само једног од ових начина третмана, јер се увек више врсти третмана спроведе ради добијања жељеног резултата. Хемијско рециклирање се углавном односи на процес којим се полимери деполимеризују (у случају синтетичких полимерских влакана који се добијају из петрохемије, попут полиестера) или разложе (у случају природних или синтетичких целулозних влакана, попут памука или вискозе). Након разлагања на молекуларном нивоу, мономери и олигомери се реполимеризују, а полимери стварају нова влакна. Међутим, пре деполимеризације или растварања, рециклирани материјал се најчешће механички третира. Штавише, топлотна рециклажа се често односи на конверзију ПЕТ пахуљица, пелета или чипса у влакна процесом топљења - али љуспице, пелете и чипс су произведени од ПЕТ отпада механичким путем, због чега се овакав начин рециклаже понекад назива механичка рециклажа. Штавише, термин топлотне рециклаже се лако замењује термичким опоравком, што је процес спаљивања текстилног отпада ради стварања топлоте и/или добијања електричне енергије.

Интересовање за повећану поновну употребу и рециклажу текстила је узруковано све већом пажњом која се посвећује концепту кружне економије и који утиче на међународну и националну политику,

У текстилној индустрији, поновна употреба и рециклажа (у облику смањења вредности) је већ добро успостављена. На пример, у Европи се око 15% до 20% одложеног текстила прикупља (остатак се депонује или се спаљује), одакле се око 50% рециклира, а 50% се поново користи, углавном кроз извоз у земље у развоју (Удружење за рециклажу текстила, 2005). Ипак у Европи постоје разне варијације, истакнути пример је Немачка, у којој се 70% одложеног текстила сакупља ради поновне употребе и рециклирања, од чега се фракција одваја за спаљивање. Такође, Данска, у којој се око 50% прикупљеног поновно употребљава у земљи или у иностранству.

Ипак, постоји потенцијал за даље повећање поновне употребе, посебно зато што је опште познато да се одевни предмети одлажу много пре краја њиховог техничког живота. С обзиром на ниску стопу рециклирања данас, постоји велики потенцијал да се такође повећа рециклажа, а посебно рециклирање полимера, олигомера и мономера, чиме се спречава одлагање текстила који се не може поново употребити или рециклирати од депоновања или сагоревања. Међутим, рециклирање полимера, олигомера и мономера отежао је недостатак технологија сортирања и раздвајања у довољно чисте фракције, иако је недавно остварен значајни продор у одвајању мешавина памука и полиестера.

5.1 Текстилни отпад у свету

Становници САД-а данас купују 60% више комада гардеробе него раније, али и бацају око 40 килограма текстила годишње по глави становника.

У међувремену, очекује се даљи раст индустрије управљања текстилним отпадом на глобалном нивоу. Уколико се узме у обзир да се ради о само 15% расположивог отпада, односно да 85% одбаченог текстила и даље завршава на депонијама, није тешко израчунати колико још простора та индустрија има за ширење капацитета и повећање запослености. Познаваоци прилика данас се махом слажу да је једино што би могло да промени трендове у производњи текстилног отпада на глобалном нивоу, то да сама индустрија инвестира у промоцију квалитета и трајности одеће уместо „новитета“.

Рачуница организација за заштиту животне средине, иначе, каже да би се „производња“ отпада успорила за 5% на глобалном нивоу, а емисија угљен-диоксида за око 10%, када би се просечан „животни век“ одеће продужио за само три месеца. За сада, познати текстилни брендови, попут *H&M*-а, инвестирају у истраживање и развој поступака добијања квалитетнијих влакана из рециклираног материјала, међутим, јасно је да су такви брендови пре део проблема, него решења, с обзиром на огромне количине јефтине одеће које нуде потрошачима широм света.



Слика 27 – Кампање за рециклажу одеће у америчким градовима [19]

Животни век „ношене“ одеће у ормарима широм света тако се рапидно скраћује у корист изузетно јефтине нове гардеробе, што све полако поприма обресе еколошке, али и социјалне катастрофе: поред препуних депонија и спалионица, трка за профитом у текстилној индустрији подразумева и бесомучно трошење природних ресурса због раста производње, уз стално погоршавање услова рада за запослене. Текстилни отпад је, срећом, изузетно погодан за разне облике рециклаже – за почетак, огроман део одбачене одеће може и даље да се користи у “second hand” облику. Према истраживању организације *Friend of the Earth*, чак 40-50% отпадног текстила спада у ову категорију, а остатак може да се преради у тканину за чишћење или да се додатно преради у сировину за израду звучне или топлотне изолације.

Више од 15 милиона тона искоришћеног текстилног отпада се генерише сваке године у Сједињеним америчким државама, а износ се удвостручио током последњих 20 година. У 2014. години произведено је више од 16 милиона тона текстилног отпада, наводи у *EPA* у Сједињеним америчким државама. Од ове количине рециклира се 2,62 милиона тона, 3,14 милиона тона се сагорева у циљу обнове енергије, а 10,46 милиона тона је послато на депонију. Просечан Американац баца око 80 фунти коришћене одеће по особи. У просеку, на националном нивоу, градове одлагање старе одеће кошта 45 долара по тони.

Као што је текстилна индустрија посао вредан билион долара на глобалном нивоу, тако и управљање текстилним отпадом у развијеним земљама генерише профит компанијама а финансијску подршку невладиним и хуманитарним организацијама, обезбеђује хиљаде радних места и смањује количину одбачене одеће и тканина на депонијама.

Индустрија рециклаже текстила у САД уклања око 2,5 милијарди фунти пост-потрошачких текстила сваке године из тока отпада и индустрија ствара више од 17,000 радних места. Међу тим радним снагама, 10.000 су полуквалификовани запослени у примарној преради искоришћеног текстила, а преосталих 7.000 запослених су запослени у завршној фази обраде.

5.2 Текстилни отпад у Србији

Процењује се да текстилни отпад у Србији чини око 5% комуналног отпада, што значи да се отприлике годишње одбаци око 100 хиљада тона одеће, обуће и кућног текстила. У нашој земљи прикупљање текстилног отпада је тек потребно регулисати, а у развијеним државама одавно се размишља, не само о промоцији „second hand“ коришћења и рециклажи, већ полако преовладава становиште да је једино што може да обузда ресурсно неодрживу експанзију текстилне индустрије, промена у навикама купаца.

У Србији су прикупљање и прерада текстилног отпада на симболичном нивоу, регулатива је недоречена, а примери добре праксе не долазе из јавног комерцијалног сектора, већ из социјалног предузетништва. Ипак, највећа препрека за ефикасније искоришћавање текстилног отпада у Србији лежи у неорганизованом прикупљању.

У Београду је „Градска чистоћа“ у последње три године поставила 41 контејнер за текстилни отпад, а на порталу овог јавно-комуналног предузећа може се сазнати и да је спремно да прода прикупљене количине за пет динара по килограму. Ипак у другим градовима Србије, не постоје ни контејнери за специјално сакупљање отпада, па је у другим локалним самоуправама остављено њиховим комуналним предузећима или ентузијастима на вољу да ли ће и како сортирати текстилни отпад, који је измешан са другим комерцијалним.

Још један аспект проблема текстилног отпада су непрецизне дефиниције неких од кључних појмова у домаћем законодавству, попут дефинисања разлике између нус производа и отпада. Из овог разлога су предузетници чекали измене и допуне тог прописа и боље дефинисање појмова од којих зависи обим њихове обавезе одлагања отпада.

Агенција Танјуг забележила је и да се озбиљна расправа на једном од састанака у Привредној комори Србије водила око тога да ли се текстилни отпад искључиво „предаје“ складиштару или рециклеру (како пише у закону), или произвођачи и даље могу да га продају.

У Србији постоји пар организација које се баве промоцијом поновне употребе одевних предмета. На пример, осмишљен у „Женском центру Ужице“, као иновативни центар за прикупљање и рециклажу текстила, настао је *ReTex*. Прво је формиран сервис за прикупљање, сортирање и донирање употребљивог текстила, а потом и радионица за производњу галантерије од рециклираног текстила. Они су за осам година свог пословања прикупили 21.000 комада текстила, и сортирали 60 тона за рециклажу, а његове услуге користи око 280 социјално угрожених породица. Сарађују са школама, вртићима, удружењима младих, Црвеним крстом и сл. Пројекат *ReTex* се заснива на чињеници да у нашој земљи има сасвим довољно текстила као сировине, па тренутно спроводи кампању ради прикупљања новца за опремање радионице за производњу рециклираног влакна, које се користи као репроматеријал у индустрији нетканог текстила, односно разних врста изолације.

Србија увози и извози текстилни отпад, како пише у Извештају о управљању отпадом за период 2011-2016 година, из Србије се годишње извози 580 тона текстилног отпада, док се увози 455 тона.

У Хрватској се сакупи 0,5 килограма текстила по становнику, док просечан грађанин Словеније сакупи 5 килограма. У Хрватској је отпочета кампања за сакупљање отпада која је подразумевала постављање одређених простора за одлагање отпада унутар урбане средине.

6 Звучна изолација од текстилних материјала

Тканина се све чешће користи као економски исплатив вид звучне изолације, јер су се показале као довољно ефикасни апсорбери звука. Звучне баријере се већ користе као звучна изолација унутар домова, али још увек није спроведен ниједан пројекат изградње саобраћајне звучне баријере од текстила.

Ослобађањем ваздушног простора на полеђини слободно окаченог тканог материјала, знатно повећава способност апсорпције звука овог материјала. Генерално, следећа четири феномена сматрају се одговорним за апсорпцију звука у тканим материјалима:

- унутрашњи виско-термички ефекти. Њих углавном одређују виско-инертни ефекти који постоје због занемарљиве дебљине тканине,
- ефекти изобличења (дисторзије) протока са обе стране тканине,
- акустична резонанца у шупљинама на полеђини узорка. Ово утиче на реакцију тканине на талас нормалног инцидента,
- преламање вибрација тканине.

За сада нема општег консензуса о главним факторима у одређују перформанс апсорпције звука текстила. Bies и Hansen објашњавају да је отпор пролазу звука најутицајнији фактор при одређивању начина на који тканина делује као материјал који апсорбује звук [20]. Fahy и Voker [21], као и Ver и Beranek [22], дефинишу отпорност струјању, порозност, ваздушна пропустљивост (пермеабилност) и структурални фактор, имају највећи утицај на акустичне перформансе текстилних материјала.

Dias и сарадници су анализирали апсорпцију звука и утврдили да се апсорпција звука тканине повећава са отпорношћу протока ваздуха и дебљином тканине [23]. Утврђено је да је порозност тканине обрнуто пропорционална отпорности тока ваздуха. Стога је закључено да је варирање апсорбционог својства звука тканине обрнуто пропорционално порозности тканине. Yang и Yu су истраживали однос између пропустљивости (пермеабилности) ваздуха и акустичких перформанси нетканог платна [24]. Наведено је да су неплетени узорци са највећом вредношћу ваздушне пропустљивости били они који су приказали инфериорне акустичне апсорпционе перформансе.

Поред овога, Lee и Chen су такође показали да се приликом дизајнирања апсорбујућег материјала заснованог на текстилу, у обзир морају узети следећи фактори; отпор тока, порозност, структурални фактор, расподеле величине пора и оријентације влакана [25].

Објављена литература на пољу текстилне акустике јасно указује на сложеност текстилних система као апсорбера звука. Може се закључити да параметри не само да независно утичу на акустичне перформансе звучно упијајућег текстилног система, већ да кључни утицај има њихова интеракција.

Ипак, последња истраживања на овом пољу су узимала у обзир два по њима најважнија фактора: порозност тканине и густину тканине. На ваздушну пермеабилност тканине и порозност утиче густина ткања, оријентација влакана и дебљина тканине.

Ваздушна пермеабилност система од тканине за апсорпцију звука се не само експоненцијално смањује са повећањем броја слојева који чине дебљину тканине, већ је и степен смањења обрнуто пропорционалан броју слојева.

Постоји више истраживања о акустичким карактеристикама тканине у односу на њену ваздушну пропустљивост. Студија Zhang-а утврдила је однос између максималне апсорпције звука и коефицијената пропустљивости тканих и нетканих тканина на фреквенцији од 400 Hz [26]. Закључено је да коефицијент апсорпције звука достиже максималну вредност на одређеној пермеабилности ваздуха, а потом опада. Jeong-а и сарадника, намеће закључак да је добра веза између ваздушне пермеабилности и коефицијената апсорпције звука постоји када је пермеабилност у опсегу од 5–15 cm³/cm²/s [27].

Aso и Kinoshita су истраживали утицај отпорности тока на апсорпционе карактеристике тканине и закључили да зависно од типа тканине постоје два механизма апсорпције [28]. Ова два механизма су дефинисана као отпор вискозности и резонанца. Отпор вискозности преовладава ако отпорност тока зависи искључиво од ваздушне вискозности унутар уског опсега брзине тока.

У једном раду Soltani и Zarrebini, истражују ефекат густине ткања, оријентације предива и укупне дебљине слојевитих тканина на коефицијент апсорпције звука тканине у односу на зрачну пропустљивост и порозност [29]. Коефицијент апсорпције звука и препустивост ваздуха узорка за плетене тканине одређени су методом импедансне цеви и тестом ваздушне пермеабилности.

Узорци су причвршћени на један крај цеви, а на други крај цеви причвршћен је звучник који емитује звучне таласе одређених фреквенција. Емитовани таласи пролазе кроз цев и одбијају се од узорка. Рефлектоване таласе добија микрофон. Трагови рефлектованог звучног таласа које је апсорбовао микрофон, појављују се на осцилоскопу.

Једначине 6.1 и 6.2 су коришћене за прорачун апсорбованог звука од стране тканине [30]:

$$\alpha = \frac{I_i}{I_r} = 1 - \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 = \frac{4n}{(1+n)^2} \quad [6.1]$$

$$n = \frac{P_{max}}{P_{min}} \quad [6.2]$$

где је: α - коефицијент апсорпције звука,

I_i и I_r - интензитети инцидентних и рефлектованих звучних таласа,

n - однос максималног и минималног притиска звучног таласа,

P_{max} , P_{min} – максимална и минимална вредност звучног таласа.

Вредности коефицијента апсорпције за фреквенције 250, 500, 1000 и 2000 Hz, коришћени су за коефицијенте редукције буке тканине. Експерименти су спроведени у одсуству периферних звукова при релативној влажности од 55 ± 2% и температури околине од 23 ± 2°C. Тест апсорпције звука и проводљивости ваздуха се понављао 10 пута за сваки узорак.

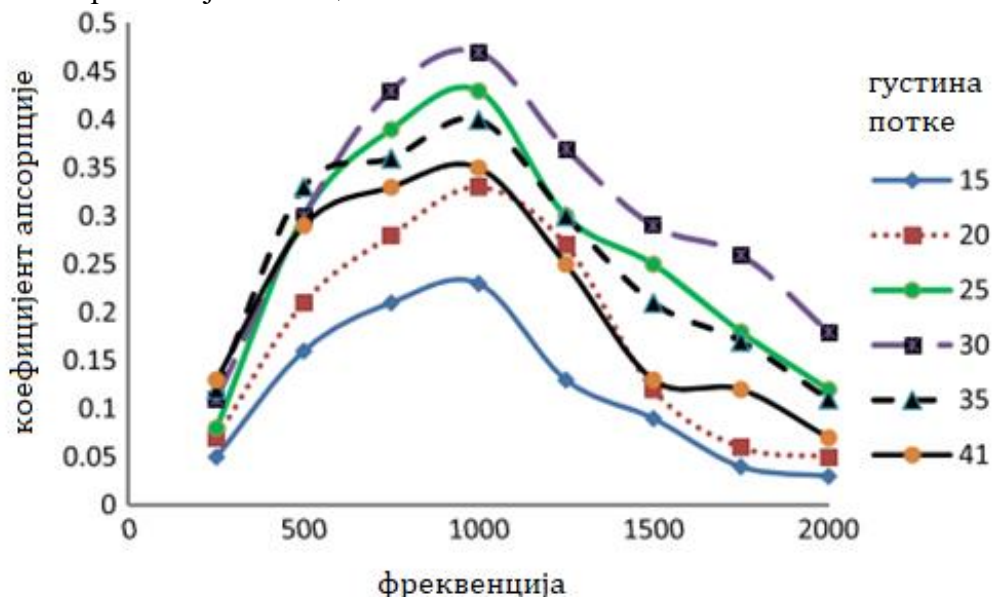
6.1 Утицај густине ткања на коефицијент апсорпције

Да би се утврдио утицај варијације густине тканине на апсорпционе перформансе тканине, мерен је коефицијент апсорпције нормалног инцидентног звука. Коришћено је шест узорака обичне тканине са идентичном густином основе (уздужног, линеарног ткања) од 26 нити/см и густином потке (попречног ткања) од 15, 20, 25, 30, 35 и 41 нити/см. Поред ових карактеристика, коришћена тканина има линеарну предивну густину од 29 и 24 tex^1 и ниво обртања од 557 и 480 rpm^2 . Структурни параметри тканине и измерене вредности ваздушне пропустљивости приказане су у табели 8:

Табела 8 - Структурни параметри коришћених узорака [30]

Густина потке (нити/см)	Тежина тканине (g/m^2)	Дебљина тканине (mm)	Густине тканине (g/cm^3)	Ваздушна пропустљивост ($\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$)
15	108	0,42	0,25	48
20	122	0,42	0,29	37
25	136	0,43	0,31	29
30	149	0,46	0,32	24
35	165	0,48	0,34	20
41	184	0,51	0,36	15

Густина потке дефинисана је као параметар који означава количину нити предива за попречно пуњење по јединичној дужини дуж нити тканине. Овај параметар утиче на укупну густину тканине. Ефекат густине потке утиче на коефицијент апсорпције звука тканине и приказан је на слици 28.



Слика 28 – Утицај густине потке на коефицијент апсорпције платна [30]

¹¹ Грама по килограму предива. То је мера линеарне густине. Тех се користи за изражавање величине влакна за многе производе, цигаретне филтере, оптичке каблове, предива и тканину.

² Твист је спирални распоред влакана око оси предива. Увијање везује влакна заједно и доприноси јачини предива. Количина преокрета убачене у предиво одређује изглед и снагу пређе. Изражава се у окретима по метру.

С обзиром на слику 28, може се констатовати да коефицијент апсорпције узорака теста лежи у опсегу од 0,04-0,47. Такође је очигледно да се за све узорке максимална вредност коефицијента апсорпције јавља на фреквенцији 1000 Hz, док се минимална вредност коефицијента апсорпције јавља на фреквенцијском опсегу од 250 до 2000 Hz.

Овај закључак је у сагласности са налазима Zhang-a, који је закључио да се за обично памучно ткање дебљине 0,39 mm, максимална апсорпција звука јавља на фреквенцији од 1000 Hz, а минимум апсорпције на фреквенцијама од 200 и 1800 Hz. Ови резултати су у потпуности компатибилни са налазима Aso и Kinoshita-e, који су приметили да се код тканих узорака дебљине 6cm, максимална апсорпција звука се јавља на фреквенцији 1000, а минимум се одвија у фреквенцијском опсегу од 250 и 2000 Hz.

Позивајући се на слику 28, може се уочити да повећање густине тканине, обично доводи до благог побољшања способности апсорпције звука тканине на ниским фреквенцијама. Такође се увиђа да се способност апсорпције звука тканине повећава до густине од 30 нити/cm преко којег се смањује. Код ниске густине тканине, јавља се минимална апсорпција звука. Ово се дешава због лакоће проласка звучних таласа кроз материјал. Код веће густине потке, као што су 35 и 41 нити/cm, стварају се мање поре. Ово доводи до веће густине тканине, што потом доводи до одбијања већег дела инцидентног звука од тканине, чиме се спречава преношење звука кроз материјал, па се смањује апсорпција звука тканине. Слаба апсорпција звука тканине на нижим фреквенцијама је резултат потпуног преноса звука кроз тканину, јер пролази кроз хомогено тело тканине.

Три општа механизма за апсорпцију звука влакнима су дефинисали Aso и Kinoshita у свом раду из 1964. године. Први механизам, који је познат као апсорпција отпора вискозитета, тиче се слабе апсорпције звука на ниским фреквенцијама. При високим фреквенцијама, апсорпција је прилично изражена. Након удара звучног таласа у зидове влакнастог склопа, услед звучног притиска долази до вибрације „заробљеног“ ваздуха унутар уских ваздушних простора тканине. Енергија звучног таласа се смањује због трења влакана и вибрације ваздуха. Када се звучна енергија претвори у топлоту услед ваздушног вискозитета због релативног кретања ваздуха по површини влакана, апсорпциони механизам се назива и резистенција вискозности.

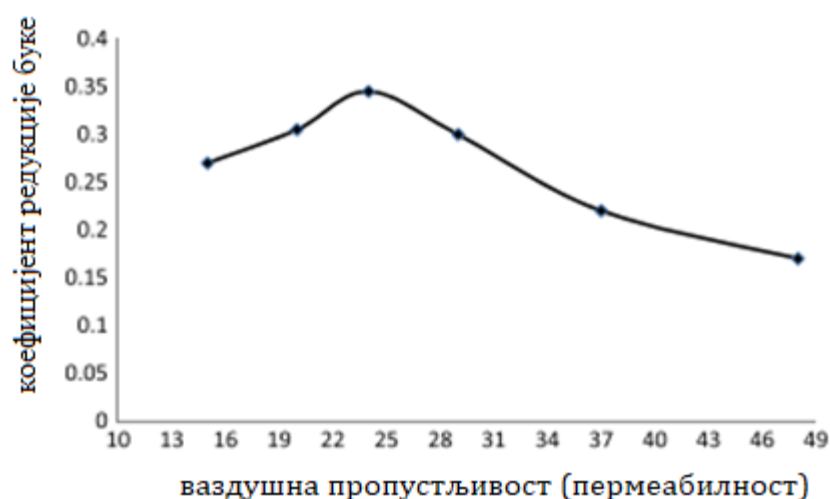
Други дефинисани механизам апсорпције звука тканине разматра опадање вредности апсорпције на нижим фреквенцијама. У вишем фреквентном опсегу, коефицијент апсорпције се повећава са повећањем фреквенције. Овај механизам се разликује од апсорпционих карактеристика резонантне апсорпције, феномена који се јавља када су херметички материјали, као што су широке иверице или шперплоче, постављени на удаљености од чврстог зида. Највиша вредност апсорпције на ниској фреквенцији, посматра се као резултат резонантног ефекта. Смањење коефицијента апсорпције на фреквенцијама од 1500 и 2000 Hz, може се десити због појаве феномена ударне коинциденције. Ова појава се обично назива *критична* фреквенција која може озбиљно ограничити способност апсорпције звука текстила. Овај феномен се јавља када су инцидентни и рефлектовани звучни таласи у фази.

Трећи механизам, који указује на максималну апсорпцију резонанце, лежи између првог и другог механизма апсорпције. Он се разматра на овај начин због чињенице да је на

фреквенцијама већим од резонанце, коефицијент апсорпције већи од оног код отпора вискозности [28].

Фреквенција на којој се јавља максимална апсорпција звука зависи од ваздушног простор на позадини узорака [28,30]. Стога се у овом раду, максимална апсорпција звука за све узорке јавља на одређеној фреквенцији од 1000 Hz због ваздушног простора на полеђини текстилних узорака.

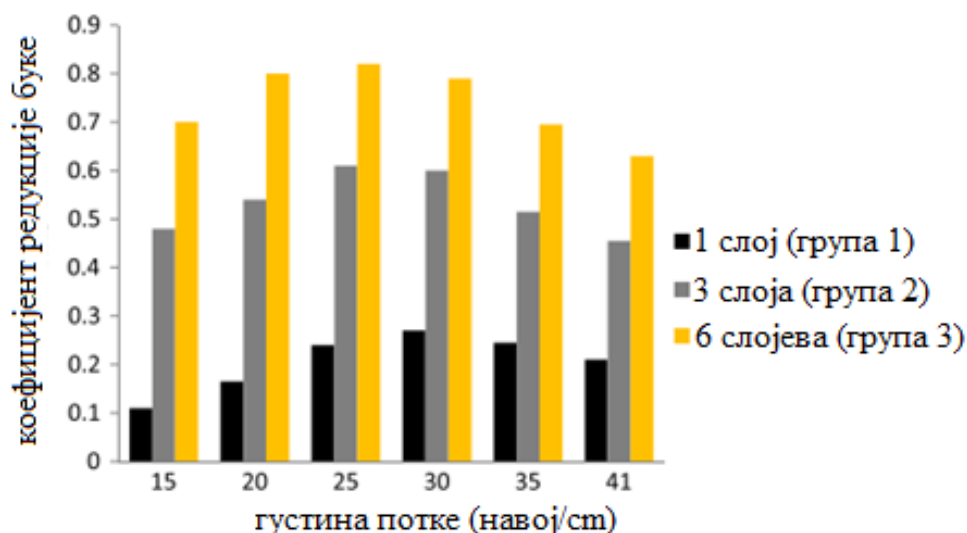
Табела 8 показује да се пропустљивост ваздуха тканине смањује са повећањем густине потке, међутим да би се истражио ефекат густине потке на апсорпционе перформансе тканине, неопходно је проценити варијацију вредности коефицијента редукције буке материјала у односу на ваздушну пропустљивост материјала. Ефекти ваздушне пропустљивости тканине на апсорпционе способности узорка тканине, који су дати су у табели 8, приказани су на слици 29.



Слика 29 – Ефекат ваздушне пропустљивости на коефицијент редукције буке [30]

Као што је приказано на слици 29, коефицијент редукције буке достиже свој максимум у опсегу ваздушне пропустљивости материјала од 20-29 cm³/cm²/s. Вредност коефицијента редукције буке је нижа при већим вредностима пропустљивости ваздуха тканине, што одговара ниској густини потке тканине, у опсегу од 15 до 20 нити/cm. Ово се дешава због чињенице да се при нижој густини потке дешава готово потпуни пренос звука кроз материјал. Осим тога, код средњих фреквенцијских и високофреквентних опсега, коефицијент апсорпције звука тканине са пропусношћу ваздуха мањом од 20 cm³/cm²/s је релативно низак. Смањење вредности коефицијента редукције буке при вредностима мањим од 20 cm³/cm²/s ваздушне пропустљивости, дешава се захваљујући веома компактној површини тканине која спречава пренос звучног таласа кроз материјал, па се велики удео инцидентних звучних таласа рефлектује.

Да би се утврдио утицај дебљине тканине и детаљно проценио утицај густине потке на коефицијент апсорпције звука тканине, постављени су слојеви дебљих узорака тканине. На слици 30 се илуструје упоредна анализа вредности коефицијента редукције буке једног, три и шест слојева узорака тканине.



Слика 30 – Ефекат густине потке и броја слојева на коефицијент редукције буке [30]

Као што се може видети, вишеслојне тканине показују знатно веће вредности коефицијента редукције буке у поређењу са појединачним слојевима. Повећање броја слојева узрокује повећање дебљине и отпорности на проток ваздуха узорака.

Стога, у вишеслојним системима тканине, повећање отпорности тока ваздуха и запремине уграђеног ваздуха су одговорни за посматрано повећање вредности коефицијента редукције буке. Ефекат додавања слојева на апсорпцију звука је у складу са налазима претходних истраживача који су утврдили да се коефицијент апсорпције звука повећава заједно са повећањем дебљине апсорбујућег материјала.

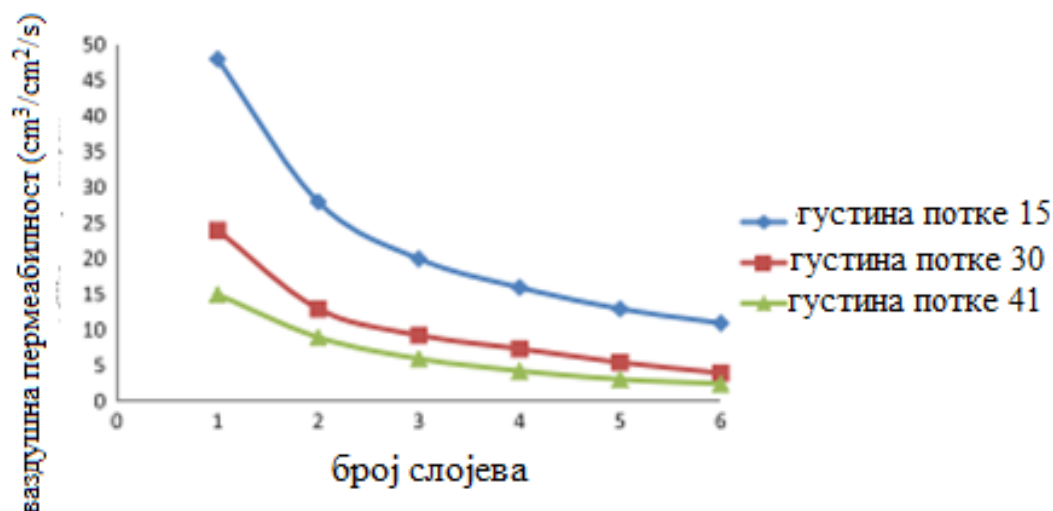
Као што показује слика 30, тканина која је ткана при густини потке од 30 нити/см максимално апсорбује звук. Код ове вредности густине потке, укупна густина тканине и пропусност ваздуха су $0,32 \text{ gr/cm}^3$ и $24 \text{ cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$, респективно. Резултати показују да на способност апсорпције звука тканине утиче укупна густина тканине, порозност и ваздушна пропустљивост. (пермеабилност).

Као што се види на слици 30, што се тиче слојевитих узорака, при нижој густини потке тканине, повећање вредности коефицијента редукције буке је веће од одговарајуће вредности коефицијента редукције буке при већим густинама потке тканине. На слици 30 је такође видљиво и смањење ваздушне пропустљивости узорака са већим бројем слојева тканине, плетеним са мањом густином потке, које је израженије од слично слојевитих узорака тканих при већој густини потке. Интересантно је истаћи да, три и шест слојевитих узорака тканих на густину потке од 25 нити/см доносе већи коефицијент редукције буке од сличних узорака тканих у густину од 30 нити/см.

Овај феномен се може оправдати тиме да се, након контакта са површином тканине у зависности од карактеристика тканине, инцидентни звучни талас делимично апсорбује, пренесе или рефлектује. Чворови унутар тканине делују као фриксиони елементи који се одупиру пролазу звучног таласа кроз материјал. Интерни структурални фактор тканине доводи до смањења амплитуде звучног таласа. Ово доводи до конверзије звучне енергије у топлоту.

Што се тиче слојевитих узорака, количина „уведеног“ ваздуха унутар узорака тканих са нижим густином потке, већа је од одговарајућих вредности у узорцима тканим при већим густинама потке. Ово побољшава апсорпцију звука тканине. Међутим, при великој густини потке, повећање заштите отежава пренос звука кроз тканину, тако да се могућности звучне рефлексије тканине повећава.

На слици 31 је приказан ефекат броја слојева на ваздушну пропустљивост.



Слика 31 – Утицај броја слојева на ваздушну пропустљивост (пермеабилност) [30]

Мора се јасно назначити да порозност тканине истовремено утиче и на ваздушну пропустљивост и апсорпцијску способност тканине. Ефекат порозности тканине на коефицијент апсорпције звука тканине се мора истраживати са сазнањем да слојевити систем за апсорпцију звука садржи празнине у којима се налази ваздух. Ове празнине утичу на апсорпцију звука слојевитог система тканине. Сходно томе, ваздушну пропустљивост требало би посматрати као преферирани критеријум у одређивању акустичних перформанси тканих тканина.

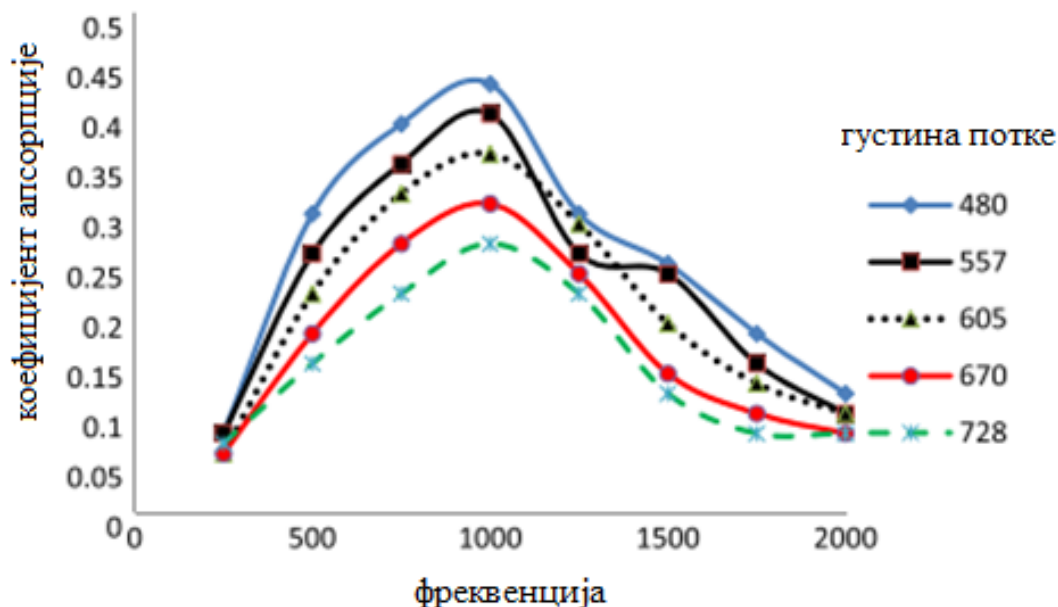
6.2 Ефекат упредености пређе на коефицијент апсорпције звука

Да би се анализирао ефекат упредености пређе на коефицијент апсорпције звука, испитиване су обичне тканине са густином основе од 26 нити/см густином потке од 25 и 26 нити/см. Попречне нити (потку) узорака тканине која се испитује, чинила су полиестерска предива линеарне предивне густине од 24 tex^3 , плетена на нивоу упредености од 480, 557, 605, 670, 728, 780 и 843 tpm^4 . Предиво од полиестера са густином основе од 29 tex и упреденошћу од 557 tpm коришћено је као предивна основа.

Варијабилност коефицијента апсорпције тканине услед различите фреквенције звука у зависности од густине потке, приказана је на слици 32.

³ tex – линеарна масена густина нити

⁴ tpm – *threads per meter* – јединица за упреденост пређе, број увоја на један метар дужине пређе



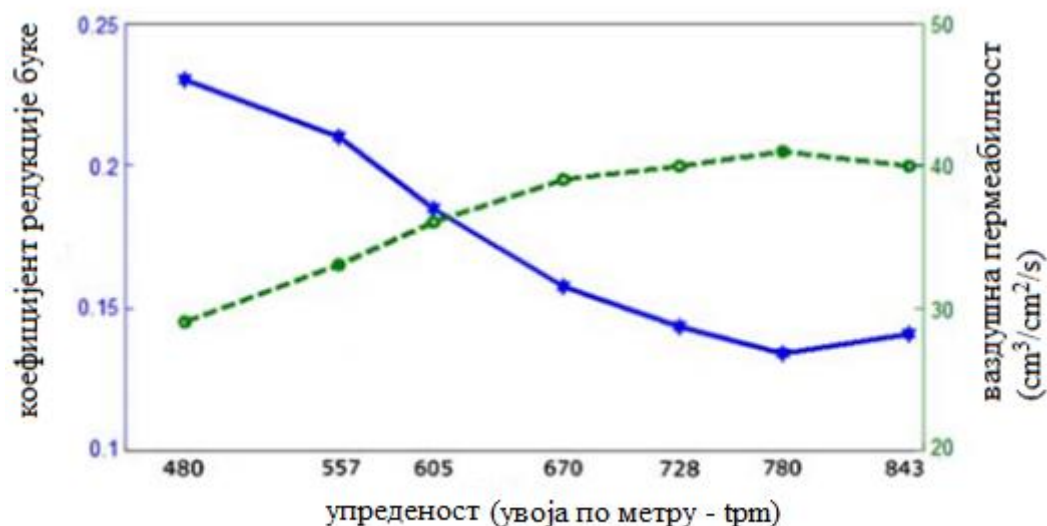
Слика 32 – Ефекат увијања попречних нити на коефицијент апсорпције [30]

Због сличности резултата вредности коефицијената при упредености од 843 и 780 *tpm* са коефицијентом апсорпције тканине упредености од 728 *tpm*, ови резултати нису приказани. Резултати указују на то да углавном за већину узорака коефицијент апсорпције лежи у опсегу од 0,061-0,401. Међутим, за све узорке се јавља максимална вредност коефицијента апсорпције при фреквенцији 1000 Hz.

Као што се може видети на слици 32, коефицијент редукције буке се смањује с нивоом упредености. Мора се нагласити да се, до нивоа упредености пређе од 780 *tpm*, пропустљивост ваздуха (пермеабилност) тканине, генерално повећава. Међутим, пропустљивост ваздуха тканине се изнад нивоа упредености од 780 *tpm* лагано смањује.

Повећање упредености предива резултира повећањем његове компактности. Ово, с друге стране, смањује пропусност тканине и количину празнина у предивима, стога и посматран коефицијент редукције буке. Даље, повећање упредености пређе максимизује компактност предива која одговара минималној количини празнина у предиву. Због поменутог, није примећена никаква значајна промена у пропустљивости тканине, јер је упреденост предива повећана са 670 на 780 *tpm*. Међутим, делимично смањење ваздушне пропустљивости тканине при упредености од 843 *tpm*, може се приписати повећању чворова предива, као резултат прекида влакна.

Слика 33 указује на постојање инверзне релације између ваздушне пропустљивости и коефицијента редукције буке тканине. Експерименти спроведени коришћењем разних тканина, различитог ткања, довели су до истих закључака везаних за утицај упредености попречних нити на коефицијент редукције буке.



Слика 33 – ефекат увијања попречних нити на коефицијент редукације буке и ваздушну пропустљивост [30]

Упркос значајно нижем коефицијенту апсорпције звука тканине у поређењу са коефицијентима апсорпције нетканог текстила, они су „први избор“ у одређеним апликацијама, где се касније због техничког и економског аспекта, не могу користити. Такође, под условом да је дозвољен оптималан ваздушни простор на полеђини система за апсорпцију звука, ткани материјали су врло ефикасно средство апсорпције звука.

Апсорпција звука тканине зависи од више варијабли: густине ткања, дебљине тканине настале слојевитог слагања, као и упредености попречних нити. За одређену линеарну густину, тканина са густином потке од 30 нити/cm, апсорбује више звука од осталих тканина. Утврђено је и да је шест слојева узорака густине потке од 25 нити/cm, узроковало већи коефицијент редукације звука у поређењу са сличним тканинама које су имале друге густине потке.

Закључује се да је стопа повећања коефицијента редукације буке слојевитих тканина *већа* за узорке са ниским густинама потке. Резултати показују да се коефицијент апсорпције тканине смањује са упреденошћу пређе. Може се констатовати да је већа стопа раста коефицијента редукације звука тканина са ниским нивоима упредености попречних нити, што је узроковано нижом ваздушном пропустљивошћу ових тканина.

7 Техно-економска анализа баријере за заштиту од саобраћајне буке

У овом поглављу ће бити приказана техно-економска анализа изградње звучне баријере дужине 5 метара од рециклиране тканине. Прорачун трошкова који се предвиђају у овој студији заснован је на просечним ценама сировина у Републици Србији.

Тренутна цена квадратне стопе звучне изолације на аутопутевима у Сједињеним америчким државама кошта 30,65 долара [31]. Ова информација ће се користити као окосница приликом израчунавања цене звучне баријере направљене од рециклираног текстила. Ради лакшег рачунања, извршена је конверзија ових вредности и па се сада вредност m^2 ове баријере процењује на 86,4796 €. Баријере у овом ценовном рангу се праве од дрвета, бетона и метала или од комбинације ових елемената.

Као што је већ поменуто, постоје различите врсте букобрана, настале на основу метода њихове изградње. За потребе ове техно-економске анализе, биће претпостављено да је текстилни панел већ унапред изграђен, те да се само монтира на месту инсталације баријере. Због тога је потребно изградити континуирани темељни зид, унутар кога ће се инсталирати панели. Висина стандардних баријера се креће од 5 до 10 метара, зависно од промета саобраћаја и других параметара терена. Баријера за коју се везује ова техно-економска анализа има висину од 6 метара, дужину од 5 метара и ширину 0,5 метара.

Дакле, трошкови које ће изградња овог панела наметнути, могу се изразити следећом једначином 7.1:

$$\begin{aligned} \text{Укупни трошкови} = & \text{Цена бетона} + \text{цена арматуре} + \\ & \text{цена дрвеног рама за поставку текстила} + \\ & + \text{цена текстила} + \text{трошкови унајмљивања радника и машина} \end{aligned} \quad [7.1]$$

Овај зид од тканине би требало да има темељ, дубине 50cm, ширине 50cm и висине од 1,5 метара изнад нивоа Земље. Количина потребног бетона за ове димензије износи $5m^3$.

За изградњу темеља букобрана је потребно, на основу удела компонената 41 цак цемента, $3 m^3$ песка и $5 m^3$ шљунка. Просечна цена 50 kg цемента, односно једног цака је 6€, m^3 песка 13,5€ и 11€ за шљунак. Дакле, трошкови износе 342€.

Арматура је такође потребна за инсталацију темељног зида, а количина арматуре по m^3 зависи од конструкције и варира од $100 kg/m^3$ до $160 kg/m^3$. У овом случају, користи се $125 kg/m^3$ арматуре, тако да укупна количина арматуре износи 625kg.

Ребраста арматура, која ће се користити у овом случају FI 8, по комаду од 20m, кошта 0,924€, по просечним ценама арматуре у Србији. На 20 метара арматуре, она има 17 kg масе. Дакле, потребно је 37 комада ове арматуре, са укупном ценом од 35€.

Када се саберу трошкови за изградњу темеља, односно основе конструкције букобрана, добија цифра од 377€, односно, укупан трошак изградње темељног зида за постављање панела од тканине, дужине 5 метара је 377€.

Као што је већ поменуто, дужина баријере је 5 метара, висина баријере 6 метара, док је њена ширина 0,5 метара. Ова баријера не може да садржи само тканину, већ јој је потребна потпора, а за ову сврху, одабрано је дрво. Дрвени рам се налази са стране баријере од пута, а дебљина овог дрвета ће бити 5cm. Потребна запремина дрвета износи $1,5\text{m}^3$. Цена резане грађе по метру кубном у Републици Србији креће се око 252€. Дакле, за потребе букобрана, за потпору тканини, потребно је издвојити 378€.

Подразумева се да је ово дрво претходно третирано мазивима и лакирано ради заштите од влаге, што је врло битно када је у питању дрво које је изложено променљивим временским условима.

Ширину баријере, поред дрвета које заузима пет центиметара, чини дебљина тканине од 45 центиметара. Запремина тканине која је потребна за израду овог панела, на основу прорачуна износи $13,5\text{ m}^3$ тканине. Густина тканине варира од састава тканине, али уколико је познато да вискоза има просечну густину $270 - 180\text{ kg/m}^3$, памук $400 - 450\text{ kg/m}^3$ и вуна око $60 - 80\text{ kg/m}^3$. Иако не постоје подаци о запреминским уделима ових материјала у отпадном тескиту, може се претпоставити да се просечна густина отпадног текстила креће између $235 - 265\text{ kg/m}^3$.

На основу информације о густини тканине, а уколико је позната њена потребна запремина, може се израчунати маса потребне тканине. Она у овом случају износи 3510kg. Цена тканине коју Јавна комунална предузећа Србије прописују за откуп је 5cent/kg. То значи да је потребно 175€ за откуп потребне количине тканине.

За изградњу темељног зида са арматуром, постављање дрвене потпоре и набавку текстила, трошак износи 930€.

Ипак, поред ових, постоје трошкови који нису узети у обзир, попут трошкова саме монтаже, мајстора и супер-визора операција. Разумно је претпоставити да би за њихов рад и за путне трошкове до ових удаљених локација на ауто-путевима (или трошкове смештаја), требало издвојити још 20% од укупних трошкова изградње, дакле суму од око 186€. Такође, изнајмљивање возила која транспортују панеле и машина које их инсталирају, коштало би око 15% трошкова изградње, 142€.

Поред ових, постоје трошкови везани за изнајмљивање машина за копање темеља, булдожера, чије изнајмљивање кошта 40€ на сат. За трошкове изнајмљивања камиона који транспортује ископану земљу на место одлагања, као и саме трошкове одлагања, везује се цифра од 80€. Такође, неопходно је изнајмити и камион мешалицу, запремине 9 m^3 , ради изливања бетона, што износи око 50€.

У трошкове изградње се морају рачунати и трошкови везани за пројектанта, правног саветника и особа које врше контролу баријера, који износе око 5% трошкова изградње, односно 50€.

Укупни трошкови изградње баријере од текстила, дужине 5 метара, сада са отплаћивањем људских ресурса који су инвестирани у њу, износе 1500€.

Почетни податак је да метар квадратни звучне изолације захтева трошак од $86,4796 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$, а како је у случају наше студије разматрано 30 метара квадратних звучне изолације, односно баријера висине 6 метара, и дужине 5 метара, укупан трошак од 2 594,388€.

Ово значи да је укупан трошак звучне баријере са тканином као главним апсорбујућим материјалом, 1,73 пута мањи од трошкова конвенционалне звучне баријере. Дакле, бенефити изградње звучних баријера од тканине су многоструки: поред преусмеравања отпадне тканине са депоније, добија се економски прихватљивије решење другог еколошког проблема, прекомерне саобраћајне буке.

8 Закључак

Бука има велики утицај на животну средину, што је тема коју овај рад обрађује. Појачана урбанизација и све виши животни стандард, утичу на повећање нивоа буке којој су изложени људи унутар градова. Саобраћај највише утиче на штетне нивое буке, а он се непрестано одвија унутар градова. Такође, ван градских средина, саобраћај још више делује на окружење, јер је једини извор буке.

Ипак, како у градским, тако и у урбаним срединама, могућа је изградња звучних баријера од различитих материјала – дрвета, бетона, стакла, пластике, плексигласа. Оне се могу инсталирати на више начина, у виду већ унапред израђених панела или се могу градити на лицу места. Баријере се деле на апсорбујуће и рефлектујуће, што зависи од материјала који се употребљава за њену изградњу. У овом раду су детаљно објашњене методе изградње панела и физичке и естетске карактеристике материјала.

Када се говори о апсорбујућим способностима тканине за упијање прекомерног звука, битна карактеристика је густина ткања. Повећање густине тканине, обично доводи до благог побољшања способности апсорпције звука тканине на ниским фреквенцијама. Ваздушна пермеабилност (пропустљивост) је главни фактор у одређивању звучне апсорпције тканине, притом на ваздушну пермеабилност тканине утиче густина ткања, оријентација влакана и дебљина тканине.

Циљ овог рада је било доказивање економске оправданости скретања текстилног отпада са депонија и његове употребе за изградњу звучних баријера. Удео текстилног отпада у укупно одложеним количинама отпада на светском нивоу расте, на шта је потребно реаговати акцијама за његово смањење. Приликом производње текстила, бесповратно се конзумирају природни ресурси, а земљиште и вода се загађују коришћењем пестицида. Из ових разлога, потребно је продужити животни век текстила, кроз рециклажу и поновну употребу.

Један од видова рециклаже, који се предлаже у овом раду је изградња баријера за заштиту од буке од текстила. Урађена техно-економска анализа је предвидела изградњу темеља и базе од армираног бетона, израду дрвеног оквира и откуп текстила од јавног комуналног предузећа по цени од 5 *centi/kg*. Поред овога, разматра се и трошак за радну снагу, изнајмљивање машина и правно саветовање. Када се сви ови трошкови саберу, установљено је да за 5 метара звучне баријере од рециклираног текстила висине 6 метара и дебљине 0,5 метара потребно издвојити 1500€. Доступни подаци о цени конвенционалне баријере су указивали на то да би баријера од бетона, челика или дрвета ових истих димензија захтевала трошак од 2 594,388€. Из овога се може закључити да израда баријере од рециклираног текстила захтева 1,73 пута нижи трошак, а поред тога је еколошки прихватљива опција.

Изградња баријера од рециклираног текстила решава питање саобраћајне буке, која постаје све интензивнија, а притом се ради на преусмеравању потенцијално корисног текстилног отпада са депонија или из постројења за опоравак енергије.

Проблем буке у урбаним срединама се више не сматра маргиналним и непрестано се ради на начинима смањења њеног утицаја. Инжењери и физичари су радили на развоју баријера што бољих апсорбујућих карактеристика, па се сада за израду баријера користи широк спектар материјала, а како се непрестано трага за еколошки повољнијим решењима, могуће је да ће звучне баријере од текстилних материјала постати распрострањена врста заштите од буке.

9 Литература

- [1] Шаш, Елвира, „*Заштита од комуналне буке*“, Природно – математички факултет, Универзитет у Новом Саду, дипломски рад, 2007.
- [2] Антонио Петошић, Сања Грубеша, Миа Суханек, *Основе акустике, бука околиша и звучна изолација те мјере за заштиту од буке у отвореном и затвореном простору*, скрипта са предавања, Факултет електротехнике и рачунарства, Свеучилиште у Загребу, Загреб, 2018.
- [3] Шлабек, Ловро „*Модерне технологије у функцији паметних градова*“, Геодетски факултет, Свеучилиште у Загребу, дипломски рад, 2016.
- [4] *Закон о заштити од буке* (Сл. гласник РС, бр 36/2009 I 88/2010)
- [5] *Приручник за пројектовање путева у Републици Србији*, Јавно предузеће „Путеви Србије“, Београд 2012.
- [6] сајт gradimo.hr, интернет страница,
<http://www.gradimo.hr/clanak/barijere-za-zastitu-od-prometne-buke/24415>
приступљено: 20.07.2018.
- [7] сајт gradjevinarstvo.rs, интернет страница,
<http://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/1729/820/barijere-za-zastitu-od-saobracajne-buke>,
приступљено: 11.09.2018.
- [8] сајт multivario.rs, интернет страница,
<https://www.multivario.rs/drveni-paneli-protiv-buke-wood>
приступљено: 29.07.2018.
- [9] сајт gradnja.rs, интернет страница
<https://www.gradnja.rs/betonski-zid-protiv-buke-s-granulama-reciklirane-autogume/>
приступљено: 30.07.2018.
- [10] сајт stonetreefence.com, интернет страница,
<https://stonetreefence.com/fence-systems/>
приступљено: 10.08.2018.
- [11] сајт smithmidland.com, интернет страница,
<https://smithmidland.com/sound-wall>
приступљено: 30.08.2018.
- [12] сајт noisebarrierfences.com, интернет страница,
<http://www.noisebarrierfences.com/Cooling%20tower%20noise%20barrier/>
приступљено: 30.08.2018.
- [13] сајт noisebarriers.org, интернет страница,
<https://www.noisebarriers.org/noisebarrier/transparent-sound-barrier.html>
приступљено: 29.08.2018.
- [14] сајт noisebarriers.org, интернет страница,
https://appeltern.nl/nl/shop/constructies/schuttingen/greenwall_classic

приступљено: 20.09.2018.

[15] сајт cherrygrrl.com, интернет страница,
<http://cherrygrrl.com/2018/03/26/global-noise-reduction-barrier-market-2018-top-players-hebei-jinbiao-polymer-technologies-inc-sonobex-limited/>
приступљено: 08.08.2018.

[16] сајт [aluminumextrusionsprofiles.com](http://www.aluminumextrusionsprofiles.com), интернет страница,
<http://www.aluminumextrusionsprofiles.com/sale-10048417-6063t5-aluminium-extrusion-profiles-for-sound-proof-wall-and-noise-reduction-tunnel.html>
приступљено: 21.08.2018.

[17] сајт [bam.com](http://www.bam.com), интернет страница,
<https://www.bam.com/en/press/press-releases/2017/5/bam-builds-a-unique-noise-barrier-with-integrated-solar-cells>
приступљено: 15.08.2018.

[18] сајт harmonyfdn.ca, интернет страница,
http://harmonyfdn.ca/?page_id=1896
приступљено: 10.08.2018.

[19] сајт [harmonyfdn.ca](http://www.harmonyfdn.ca), интернет страница,
<https://www.fashionatingworld.com/new1-2/brands-promote-re-use-and-recycling-of-used-clothes>
приступљено: 11.08.2018.

[20] Bies, D. A. & Hansen, C. H. (2009). *Engineering noise control: Theory and practice* (2nd ed.). New York: Taylor & Francis.

[21] Fahy, F. & Walker, J. G. (1998). *Fundamentals of noise and vibration*. London: E & FN Spon

[22] Ver, I. L. & Beranek, L. L. (2006). *Noise and vibration control engineering: Principles and applications* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons

[23] Dias, T., Monaragala, R., Needham, P., & Lay, E. (2007). *Analysis of sound absorption of tuck spacer fabrics to reduce automotive noise*, Measurement Science and Technology, 18, 2657–2666.

[24] Yang, S. & Yu, W. (2011). *Air permeability and acoustic absorbing behavior of nonwovens*. Journal of Fiber Bioengineering and Informatics, 3, 203–207.

[25] Lee, F. C. & Chen, W. H. (2003). *On the acoustic absorption of multi-layer absorbers with different inner structures*. Journal of Sound and Vibration, 259, 761–777

[26] Zhang, X. A. (2008, June–July). *The vibration sound absorption theory of flexible materials*. Презентовано на „Акустика ‘08“, Париз.

[27] Jeong, J. H., Kim, J. J., & Sohn, J. Y. (2008, July 6–10). *Sound absorption characteristics of PTFE membrane material*. Чланак презентован на 15. Интернационалном Конгресу о звуку и вибрацијама, Кореја.

[28] Aso, S. & Kinoshita, R. (1964). *Absorption of sound wave by fabrics, part 3: Flow resistance*. Textile Machinery Society of Japan, 10, 236–241.

- [29] Soltani, P. & Zarrebini, M. (2012). *The analysis of acoustical characteristics and sound absorption coefficient of woven fabrics*. Textile Research Journal, 82, 875–882.
- [30] Soltani, P., & Zarrebini, M. (2013). *Acoustic performance of woven fabrics in relation to structural parameters and air permeability*. Journal of the Textile Institute, 104(9), 1011–1016.
- [31] [Приручник за полазника - Обука за ручно ткање](#), Министарство просвете и науке, Република Србија, 2011.
- [32] сајт [wsdot.wa.gov](https://www.wsdot.wa.gov), интернет страница,
<https://www.wsdot.wa.gov/environment/protecting/noise-walls>
приступљено: 20.07.2018.
- [33] сајт [fhwa.dot.gov](https://www.fhwa.dot.gov), интернет страница *U.S. Department of transportation*,
https://www.fhwa.dot.gov/ENVIRONMENT/noise/noise_barriers/design_construction/design/design04.cfm,
приступљено: 30.08.2018.