



Техничко решење

Мерни систем за *in situ* мерење акустичких карактеристика звучних баријера према стандардима EN 1793-5 и EN 1793-6

Аутори:

Дејан Тодоровић, Ива Салом, Братислав Планић,
Горан Димић, Владимир Ђатић, Мина Косић

Година: 2020.

Корисник:

Dirigent Acoustics d.o.o.

Начин коришћења:

In situ мерења акустичких карактеристика звучних баријера: звучне изолације и рефлексије, за утврђивање квалитета инсталираних звучних баријера

Рецензенти:



ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ

Назив	Мерни систем за in situ мерење акустичких карактеристика звучних баријера према стандардима EN 1793-5 и EN 1793-6
Аутори	Дејан Тодоровић, Ива Салом, Братислав Планић, Горан Димић, Владимир Ћатић, Мина Радивојевић Dirigent Acoustics d.o.o. Институт Михајло Пупин, Универзитет у Београду
Категорија	Ново техничко решење (метода) примењено на националном нивоу (M82) Доказ: Уговор
Кључне речи	Звучне баријере, индекс звучне изолације, индекс рефлексije

За кога је решење рађено (правно лице или грана привреде):

Техничко решење је рађено за потребе Dirigent Acoustics d.o.o., водеће фирме у региону за акустички и аудио консалтинг, заштиту од буке и вибреција, звучну заштиту и аудио технологије.

Година када је решење компетирано:

2020.

Година када је почело да се примењује и од кога:

Примена техничког решења је почела 2020. године, када је фирма Dirigent Acoustics d.o.o. уврстила у понуду производњу, продају и пласман својих услуга мерења акустичких карактеристика звучних баријера.

Корисник: Dirigent Acoustics d.o.o.

Област и научна дисциплина на коју се техничко решење односи:

Техничко-технолошке науке; техничка акустика, аудио техника

Рецензенти техничког решења:

Технички елаборат:

- Проблем који се техничким решењем решава
- Стање решености тог проблема у свету
- Опис техничког решења са карактеристикама, укључујући пратеће илустрације и техничке цртеже
- Референце
- Рецензије техничког решења

ТЕХНИЧКИ ЕЛАБОРАТ

Проблем који се техничким решењем решава:

Бука је нежељени звук. Загађење буком је постао озбиљан проблем у савременом свету, посебно у модерним урбаним срединама, који се одражава како на психичко стање људи тако и на њихово здравље. Према извештајима Светске здравствене организације – СЗО (*World Health Organization – WHO*) [1]-[4] бука представља други загађивач човекове околине одмах после загађености ваздуха. Стога се у последње време се све већа пажња посвећује мерама заштите од буке.

Саобраћај је један од доминантних извора буке. Један од најефикаснијих начина заштите од саобраћајне буке је постављање звучних баријера дуж саобраћајница. Звучне баријере пре свега морају обезбедити одговарајућу звучну изолацију и апсорпцију, а уз то и да задовоље и додатне захтеве, као што су естетско уклапање у околину па се данас посвећује велика пажња моделовању баријера, које могу бити направљене од различитих материјала (бетона, опеке, метала, дрвета итд.). За реализоване баријере неопходно је потврдити захтеване акустичке карактеристике у смислу вредности индекса звучне изолације и индекса рефлексије на терену (*in situ*). Реализовани мерни систем је пројектован за *in situ* мерења поменутих карактеристика звучних баријера према стандардима EN 1793-5 [5] и EN 1793-6 [6].

Стање решености тог проблема у свету:

Мерење акустичких карактеристике звучних баријера је предмет истраживања у Европи од почетка њихове примене. Истраживања су интензивирани са пројектом са пројектом Европске комисије ADRIENNE [7], који је трајао у периоду од 1995. до 1997. године. На основу резултата добијених током овог пројекта, уведен је европски стандард [8] и дефинисане су прве препоруке за *in situ* мерење акустичких карактеристика звучних баријера: звучне изолације (*sound insulation index - SI*) и звучне рефлексије (*reflection index - RI*). Након усавршавања и верификација мерних метода током пројекта Европске комисије QUIESST [9] уследиле су ревизије стандарда и мерне методе за мерење звучне изолације и звучне рефлексије подељене су у посебне стандарде EN 1793-5 [5] и EN 1793-6 [6], како се и данас примењују. Током пројекта QUISTIM [10] саобраћајног истраживачког програма Европске дирекције за путеве (*Conference of European Directors of Roads - CEDR*), испитивана су иновативна решења звучних баријера у циљу ефикасније примене у процесу планирања, управљања, изградње и одржавања путева.

Мерне методе дефинисане стандардима EN 1793-5 [5] и EN 1793-6 [6] користе се како за квалификовање звучних баријера на основу њихових акустичких карактеристика, тако и за проверу усаглашености тих карактеристика са задатим спецификацијама. Редовном применом описаних метода може се вршити провера дугорочне ефикасности уграђених звучних баријера.

Мерне методе дефинисане стандардима EN 1793-5 [5] и EN 1793-6 [6] засноване су на усредњавању резултата мерења на истом растојању од баријере на различитим позицијама у односу на баријеру за различите углове инциденције. Резултати добијени овим методама нису директно поредиви са резултатима добијеним методама

дефинисаним стандардима EN 1793-1 [11] и EN 1793-2 [12], које се односе на мерења у лабораторијским условима, пре свега због чињенице да се у случају *in situ* метода користи усмерено звучно поље, док је у случају лабораторијских мерења звучно поље дифузно.

На слици 1 приказано је неколико примера примене мерења акустичких карактеристика звучних баријера на основу стандарда EN 1793-5 [5] и EN 1793-6 [6] из праксе. Овакви системи се стандардно састоје од микрофонског низа мерних микрофона у конфигурацији 3 x 3 решетке, извора звука, као и мерне опреме, која подразумева генератор аудио сигнала и снимач, и/или лаптоп рачунар са аудио картицом.

За разлику од представљених примера, развијени мерни систем значајно поједностављује начин мерења, јер се генерисање и снимање сигнала врши истовремено на централном модулу, базираном на XILINX *System-on-Chip* (SoC) платформи, једноставним покретањем помоћу прекидача. Сигнали са свих микрофона се снимају на SD картици, док се обрада врши на рачунару покретањем развијене апликације, која по избору фолдера са снимцима са једног мерења приказује резултате прорачуна. Микрофонски низ се састоји од парова MEMS дигиталних микрофона, који су се кроз претходне примене показали као добар избор са задовољавајућим карактеристикама.



Слика 1 Примери мерења акустичких карактеристика звучних баријера на основу стандарда EN 1793-5 [5] и EN 1793-6 [6]

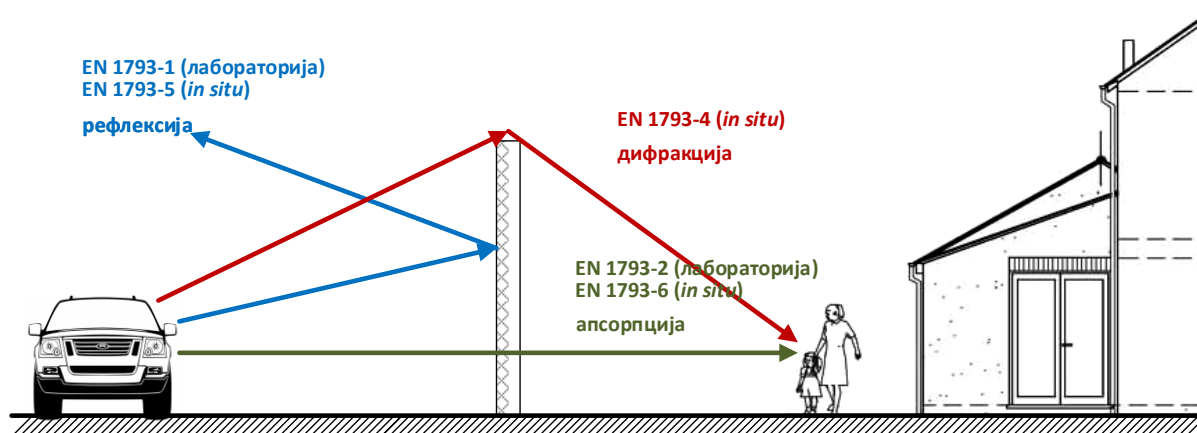
Опис техничког решења са карактеристикама, укључујући пратеће илустрације и техничке цртеже:

Опис EN 1793-5 и EN 1793-6 метода за одређивање акустичких карактеристика звучних баријера

Звучне баријере постављене дуж саобраћајница морају да обезбеде одговарајућу звучну изолацију такву да звук који пролази кроз њих није доминантан у поређењу са дифрактованим звуком са врха звучне баријере (слика 2).

Резултати мерења применом метода дефинисаних стандардима EN 1793-5 [5] и EN 1793-6 [6] су вредности индекса звучне изолације SI, односно индекса рефлексије RI, представљени у трећинско-октавним опсезима у опсегу фреквенција од 100 Hz – 5 kHz, као и глобалне једнобројне вредности добијене пондерисањем појединачних вредности SI, односно RI у различитим фреквенцијским опсезима са одговарајућим нормализованим спектром буке саобраћаја, дефинисаним стандардом EN 1793-3 [13].

На слици 2 приказан је преглед групе стандарда EN 1793 везаних за одређивање карактеристика звучних баријера.



Слика 2 Преглед стандарда EN 1793

Поставка мерења дефинисана стандардима EN 1793-5 [5] и EN 1793-6 [6] приказана је на сликама 3 и 4, и укључује звучни извор и микрофонски низ од 9 микрофона, распоређених у 3 x 3 решетку, при чему је растојање између микрофона $s = 0,4$ m. Дефинисан су следећи параметри:

- растојање од звучника до баријере: d_S ,
- растојање од микрофонске решетке до баријере: d_M ,
- референтна висина, то јест висина на којој је постављен звучник, односно центар микрофонске решетке h_S ,
- висина звучне баријере h_B ,
- дебљина звучне баријере t_B .

Примењују се мерења импулсних одзива коришћењем *sine sweep* или MLS (*Maximum Length Sequence*) мерне технике, којима се добија импулсни одзив на основу којег се врше израчунавања. Мерења се врше у 2 случаја: у присуству баријере и у слободном пољу, на истом међусобном растојању између звучника и микрофонске решетке. Изузетно је битно

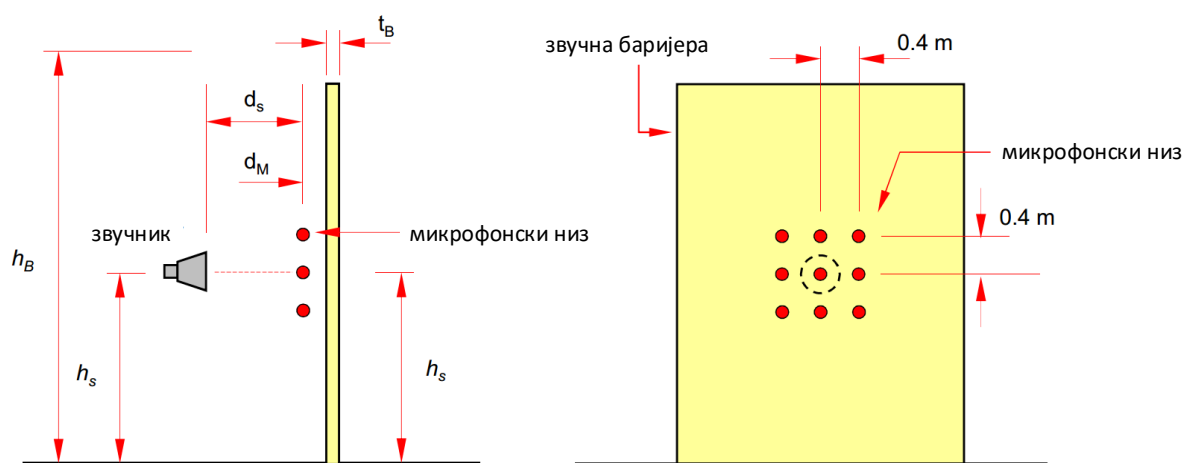
обезбедити исти међусобни положај звучника и микрофонског низа у оба мерења, препоручена дозвољена одступања су мања од 50 mm [6]. У случају одређивања индекса SI микрофонски низ је постављен иза баријере, то јест баријера се налази између звучника и микрофонског низа (слика 3), док је у случају одређивања индекса RI микрофонски низ постављен испред баријере, то јест између звучника и баријере (слика 4).

Препоручени параметри у случају мерења индекса RI су:

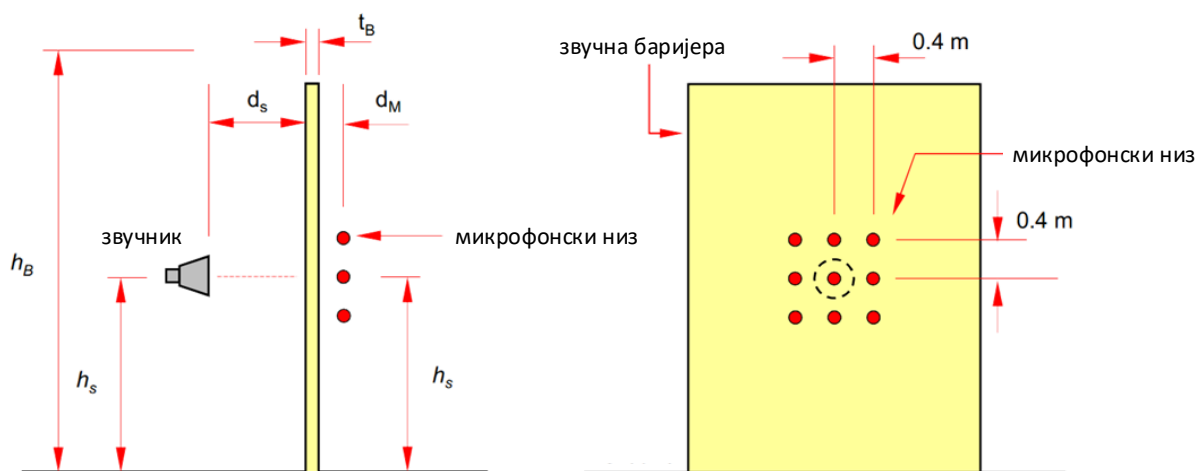
- растојање од звучника до баријере: $d_S = 1,50$ m,
- растојање од микрофонске решетке до баријере: $d_M = 0,25$ m,

Препоручени параметри у случају мерења индекса SI су:

- растојање од звучника до баријере: $d_S = 1,00$ m,
- растојање од микрофонске решетке до баријере: $d_M = 0,25$ m,



Слика 3 Поставка мерења према EN 1793-5 [5]



Слика 4 Поставка мерења према EN 1793-6 [6]

Спектрална густина енергије директног и трансмитованог, односно директног и рефлектованог звука представља основу за порачун индекса SI, односно RI. При томе се вредности индекса SI и RI добијају као логаритамски усредњене вредности сигнала са 9 микрофонских позиција.

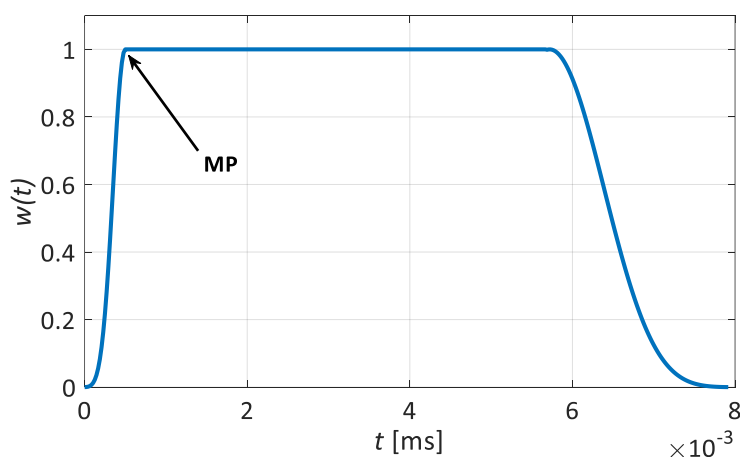
Да би се добили што тачнији резултати мерења, то јест да би одговарајуће мерење укључило само допринос одговарајућег сигнала (директног, трансмитованог кроз баријеру и рефлектованог од баријере) препорука је да се сва мерења у циљу одређивања индекса SI и RI врше у одсуству рефлектујућих површина. Ипак, немогуће је избећи рефлексију од тла. Додатно приликом одређивања индекса SI потребно је искључити утицај дифракције са врха баријере. Из тог разлога током пројекта ADRIENNE [7] дефинисан је посебан временски временски прозор, такозвани *Adrienne* прозор, којим се одстрањују сви непожељни утицаји на сигнал за обраду (рефлексије и дифракције).

За одређивање индекса RI примењује се поступак временског одузимања тако да се импулсни одзив директног таласа у случају мерења у слободном пољу и у присуству баријере потпуно поништи. Да би резултат поступак овог одузимања био потпуно поништавање директног звука у присуству баријере, неопходно је испунити поменути услов о што приближнијем међусобном положају звучника и микрофонске решетке у оба мерења. *Adrienne* прозор ће у овом случају бити позициониран тако да додатно допринесе потискивању директног звука у случају мерења у присуству баријере.

На слици 5 приказан је изглед *Adrienne* прозора. *Adrienne* прозор састоји се од три дела. Облик првог и трећег дела представљени су обликом Blackman-Harris-овог прозора, дефинисаног у зависности од трајања прозора T_W :

$$w(t) = a_0 - a_1 \cos\left(\frac{2\pi t}{T_W}\right) + a_2 \cos\left(\frac{4\pi t}{T_W}\right) - a_3 \cos\left(\frac{6\pi t}{T_W}\right), \quad (1)$$

где су: $a_0 = 0,35897$, $a_1 = 0,48829$, $a_2 = 0,14128$, $a_3 = 0,01168$.



Слика 5 *Adrienne* временски прозор

Трајање првог дела је фиксно и износи 0,5 ms. Трајање другог дела зависи од тренутка наилазка рефлексије од тла и дифракованог таласа у измереним импулсним дзивима тако да укупно трајање *Adrienne* прозора директно зависи од висине баријере. При томе је трајање другог и трећег дела увек у односу 7 : 3. Максимална препоручена укупна дужина *Adrienne* прозора је 7,9 ms, уколико њиме нису обухваћене рефлексије од тла и

дифраковани талас у импулсном одзиву. Укупна дужина *Adrienne* прозора ограничава фреквенцијски опсег добијених резултата индекса SI и RI – нанижа фреквенција одређена је првом нулом у фреквенцијском одзиву *Adrienne* прозора.

Тачка између првог и другог дела *Adrienne* прозора назива се *Marker Point* – MP. *Adrienne* прозор се позиционира тако да се тачка MP постави на 0,2 ms пре наиласка директног звука.

Вредности индекса SI по трећинско октавним фреквенцијским опсезима рачунају се применом формуле:

$$SI_j = -10 \log \left\{ \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{\int_{\Delta f_j} |F[h_{tk}(t)w_{tk}(t)]|^2 df}{\int_{\Delta f_j} |F[h_{ik}(t)w_{ik}(t)]|^2 df} \right\}, \quad (2)$$

где су:

- $h_{tk}(t)$ – директна компонента импулсног одзива у слободном пољу на k -том микрофону,
- $h_{ik}(t)$ – трансмитована компонента импулсног одзива на k -том микрофону,
- $w_{tk}(t)$ – *Adrienne* прозор за директну компонента импулсног одзива у слободном пољу на k -том микрофону,
- $w_{ik}(t)$ – *Adrienne* прозор за трансмитовану компонента импулсног одзива на k -том микрофону,
- F – ознака *Fourier*-ове трансформације,
- j – ознака трећинско октавног фреквенцијског опсега,
- Δf_j – ширина трећинско октавног фреквенцијског опсега,
- $n = 9$ – број мерних микрофона.

Једнобројна вредност индекса звучне изолације $DL_{SI,E}$ добије се на основу формуле:

$$DL_{SI,E} = -10 \log \left\{ \frac{\sum_{i=m}^{18} 10^{0,1L_i} 10^{-0,1SI_{E,i}}}{\sum_{i=m}^{18} 10^{0,1L_i}} \right\}, \quad (3)$$

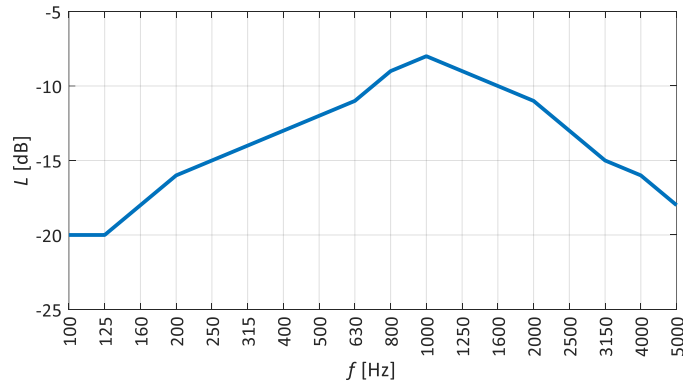
где су:

- $SI_{E,i}$ – индекс звучне изолације у i -том трећинско октавном опсегу,
- m – редни бро најнижег трећинског октавног фреквенцијског опсега,
- L_i – релатвни А-пондерисани ниво звука у dB нормализованог спектра буке саобраћаја дефинисаног стандардом EN 1793-3 [13], у i -том трећинско октавном опсегу.

А-пондерисани ниво звука нормализованог спектра буке саобраћаја дефинисаног стандардом EN 1793-3 [13] приказане ј на слици .

За сваку звучну баријеру мерења се примењују испред елемента баријере $DL_{SI,E}$, као и испред стуба баријере који повезује два елемента $DL_{SI,P}$, на претходно описан начин. Глобална једнобројна вредност за квалификовање звучне изолације баријере одређује узимајући у обзир обе израчунате вредности, према изразу:

$$DL_{SI,G} = -10 \log \left\{ \frac{10^{-0,1DL_{SI,E}} + 10^{-0,1DL_{SI,P}}}{2} \right\}. \quad (4)$$



Слика 6 А-пундерисани ниво звука нормализованог спектра буке саобраћаја дефинисаног стандардом EN 1793-3 [13]

Вредности индекса RI по трећинско октавним фреквенцијским опсезима рачунају се применом формуле:

$$RI_j = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} \frac{\int_{\Delta f_j} |F[h_{rk}(t)w_{rk}(t)]|^2 df}{\int_{\Delta f_j} |F[h_{ik}(t)w_{ik}(t)]|^2 df} \cdot C_{geo,k} \cdot C_{dir,k}(\Delta f_j) \cdot C_{gain,k}(\Delta f_g), \quad (5)$$

где су:

- $h_{ik}(t)$ – директна компонента импулсног одзива у слободном пољу на k -том микрофону,
- $h_{rk}(t)$ – рефлектована компонента импулсног одзива на k -том микрофону,
- $w_{ik}(t)$ – *Adrienne* прозор за директну компонента импулсног одзива у слободном пољу на k -том микрофону,
- $w_{rk}(t)$ – *Adrienne* прозор за рефлектовану компонента импулсног одзива на k -том микрофону,
- k – број мерног микрофона,
- n_j – број микрофонске позиције за оју се ради усредњавање,
- $C_{geo,k}, C_{dir,k}, C_{gain,k}$ – различити корекциони фактори утицаја геометрије и усмерености на месту k -тог микрофона, који се често могу занемарити.

Једнобројна вредност индекса звучне изолације DL_{RI} добије се на основу формуле:

$$DL_{RI} = -10 \log \left\{ \frac{\sum_{i=m}^{18} RI_i 10^{0,1L_i}}{\sum_{i=m}^{18} 10^{0,1L_i}} \right\}, \quad (6)$$

Опис хардвера

Развијени мерни систем обухвата следеће блокове:

1. сензорски блок (микрофоски низ),
2. звучни извор – звучник,
3. платформу за аквизицију, генерисање, обраду и складиштење података, са GPS модулом,
4. напајање,
5. механички носач микрофона,
6. блок за обраду (*post processing*) и кориснички интерфејс.

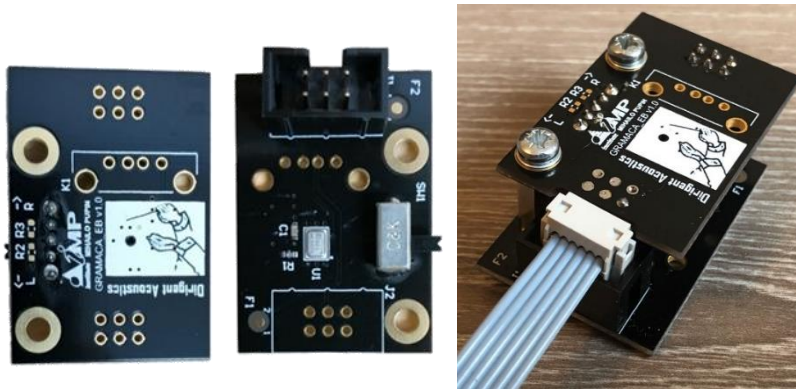
Сензорски блок. Основна улога сензорског блока је одабирање акустичког сигнала и аналого-дигитална конверзија. Микрофонски низ састоји се од 9 парова микрофона у конфигурацији 3 x 3 решетке, на растојањима од по 0,4 m, као што је дефинисано у стандардима EN 1793-5 [5] и EN 1793-6 [6]. За конкретну примену захтева се да микрофони имају омнидирекциону карактеристику усмерености, широк фреквенцијски одзив, задовољавајућу осетљивост, као и задовољавајући однос сигнал/шум. Због својих малих димензија и отпорности на сметње, нарочито због релативно дугачких линија од самог микрофона до модула за аквизицију, коришћени су дигитални MEMS микрофони [14]. Одабрани су омнидирекциони микрофони ADMP621 произвођача *TDK InvenSense* [15], због прихватљивог одзива у распону фреквенција од 100 Hz до 16 kHz, доброг односа сигнал-шум од 65 dBA и осетљивости од -46 dBFS.

Благо усмеравање микрофона на високим фреквенцијама је разлог коришћења два микрофона у пару, супротно усмерених.

Одабрани дигитални MEMS микрофони представљају интегрисано решење које обухвата акустички претварач, предпојачавач аудио сигнала и сигма-делта конвертор унутар једног интегрисаног кола. Мале димензије паковања дигиталних MEMS микрофона омогућавају лако постављање компоненти на електронску штапану плочу помоћу машина за аутоматско улагање компонената. Дигитални интерфејс оваквих микрофона омогућава њихово директно повезивање са дигиталним интегрисаним колима, као што су FPGA програмабилна интегрисана кола, без потребе за додатним компонентама попут аналого-дигиталног конвертора који би био неопходан при употреби аналогних микрофона. Микрофони оваквог типа захтевају, поред веза са напајањем и масом система, једино улазни сигнал такта фреквенције између 1 MHz и 3 MHz. Сваки од микрофона повезан је преко четири сигнала тј. сигнала такта, масе, напајања и излазног сигнала података. Излази сигнала података групе коју чине два микрофона мултиплексирани су импулсно-ширинском модулацијом, PDM (*Pulse Density Modulation*). На овај начин микрофони из исте групе деле излазни сигнал података и синхронизишу се на исти улазни сигнал такта. Оваква расподела конекција резултује смањењем физичког броја веза са FPGA програмабилном логиком на половину од укупног броја имплементираних дигиталних MEMS микрофона, у овом случају 9.

Дигитални MEMS микрофони, сваки понаособ, асемблирани су на једноставну електронску штапану плочу, означену као EB (*Extension Board*). EB плоча, поред MEMS микрофона и пасивних компоненти садржи и прекидач, којим се подешава на коју ивицу такта се врши одабирање података са MEMS микрофона из микрофонског пара који су повезани на заједничке линије. Свака од плоча реализована је на такав начин да се лако може повезати са флет каблом за остваривање физичке везе преко одговарајућег конектора. Оваквом реализацијом омогућена је лака замена акустичких сензора у случају појединачних отказа, као и једноставне измене у конфигурацији сензорског низа. Електронска штапана плоча EB са дигиталним MEMS микрофоном приказана је на слици 7. На истој слици под б) може се видети како је механички и електрично повезан пар микрофона.

На слици 8 приказано је на који начин су парови микрофона повезани на алуминијумски рам, који чини решетку. На истој слици под б) приказан је пар микрофона са сунђерима за заштиту од ветра.



Слика 7 Микрофонски модул



Слика 8 Микрофонски модули монтирани на решетку

Звучни извор је активни преносни звучник *Marshall* захтеваних карактеристика; Ниво звучног притиска већи од 100 dB на растојању од 1 m, фреквенцијски опсег 80 Hz – 8 kHz. Звучник је директно повезан на аудио излаз платформе за аквизицију, генерисање, обраду и складиштење података.

Платформа за аквизицију, генерисање, обраду и складиштење података – у овом блоку врши се:

- прикупљање више дигиталних акустичких сигнала у PDM формату,
- конверзија дигиталних акустичких сигнала у захтевани облик (PDM сигнал у PCM сигнал захтеване фреквенције одабирања и битске резолуције),
- повезивање са GPS модулом,
- повезивање са модулом за прикупљање метеоролошких параметара,
- складиштење аудио записа са свих микрофона на меморијском модулу (SD картица), као и података са GPS и метеоролошких модула.

С обзиром на то да оптимално решење проблема аквизиције и обраде већег броја акустичких сигнала у реалном времену захтева паралелно процесирање сигнала сваког од сензора, за реализацију је одабрана платформа базирана на FPGA програмабилној логици [16]-[21]. Поред могућности паралелне обраде велике количине података додатне предности програмабилне логике огледају се у повећаној поузданости, времену извршења и малој потрошњи. За реализацију функционалног прототипа искоришћена је развојна плоча *Digilent Arty Z7-10* [21], базирана на AP SoC чипу *Xilinx Zynq-7000* [22], који укључује двојезграницу ARM Cortex A-9 процесор (PS) и FPGA програмабилну логику из серије *Xilinx-7*

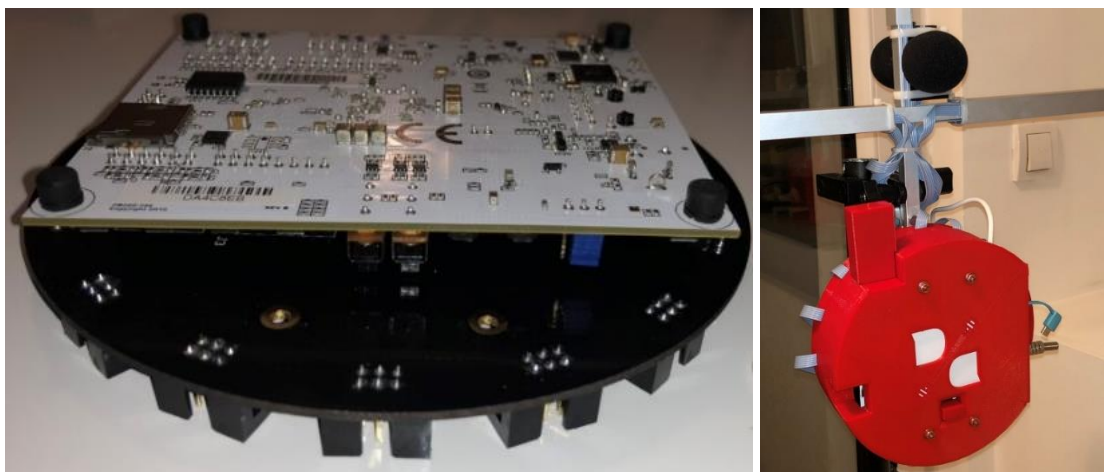
(PL). Главна предност ове платформе не огледа се само у овим њеним појединачним деловима (PS и PL), већ и у могућности њиховог заједничког функционисања у оквиру једног система, уз брзу комуникацију, остварену пре свега њиховим повезивањем преко AXI (*Advanced eXtensible Interface*) интерфејса. Аквизиција података и део обраде врше се у програмабилној логици (PL), док се складиштење података врши на једном од процесора (PS). Развојна *Digilent Arty Z7-10* одабрана је јер омогућава повезивање великог броја дигиталних I/O сигнала, као и додатних модула преко Pmod конектора, садржи интерфејс за повезивање са микро SD картицом, а при томе се одликује оптимизацијом потрошње, цене и величине.

За повезивање сензорског блока и платформе за аквизицију, генерисање, обраду и складиштење података пројектована је централна штампана плоча, означена као СВ (*Central Board*), која поред потребних пасивних компонената, садржи конектор за повезивање са *Digilent Arty Z7-10* развојном плочом, са једне стране, и 16 одговарајућих конектора за повезивање са ЕБ плочама преко флет каблова задатих дужина и са одговарајућим конекторима, са друге стране. Од 16 конектора одабрано је 9 који се најбоље уклапају у механичку конструкцију система. На сваки флет кабл повезане су по 2 ЕВ плоче.

На слици 9 а) приказана је СВ плоча са са *Digilent Arty Z7-10* развојном плочом. Кућиште за платформу за аквизицију, генерисање, обраду и складиштење података, које је приказано на истој слици под б) пројектовано је у софтверском пакету *AutoCAD* и одштампано помоћу 3D штампача.

GPS модулом се преко UART интерфејса прихватају подаци у облику информација о тренутном положају мерног система (географска ширина и дужина, и надморска висина) и тачног времена. Изабран је *Digilent Pmod GPS* [24] са прецизношћу географских координата од 3 m.

Уређај је могуће опремити и метеоролошким модулима, чије податке мерења је могуће укључити у алгоритам за прорачун акустичких карактеристика мерених звучних баријера (на пример, Pmod HYGRO за одређивање температуре и влажности ваздуха, као и Pmod NAV за одређивање атмосферског притиска). У уређају је обезбеђена подршка за ове модуле.



Слика 9 а) Платформа за аквизицију, генерисање, обраду и складиштење података повезана са СВ плочом, б) платформа са кућиштем, монтирана на постоље мерног система

Напајање платформе за аквизицију, генерисање, обраду и складиштење података. За напајање система изабрано је аутономно батеријско напајање довољно малих димензија и тежине, у виду екстерне батерије за пуњење мобилних телефона са USB микро конектором. Намењено је за напајање самог микрофонског низа, као и одређених модула који се повезују на платформу. Овакво напајање обезбеђује довољан број узастопних сесија снимања, при чему је могуће напунити или заменити батерију по потреби.

Механички сталци су стандардни сталци са навојем. На један сталак монтиран је звучник, док су на други монтирани платформа за аквизицију, генерисање, обраду и складиштење података и алуминијумска решетка. Алуминијумска решетка је пројектовна тако да су микрофони распоређени у конфигурацији 3 x 3 према захтевима из стандарда EN 1793-5 [5] и EN 1793-6 [6].

На слици 10 приказан је реализовани мерни систем током мерења на терену.



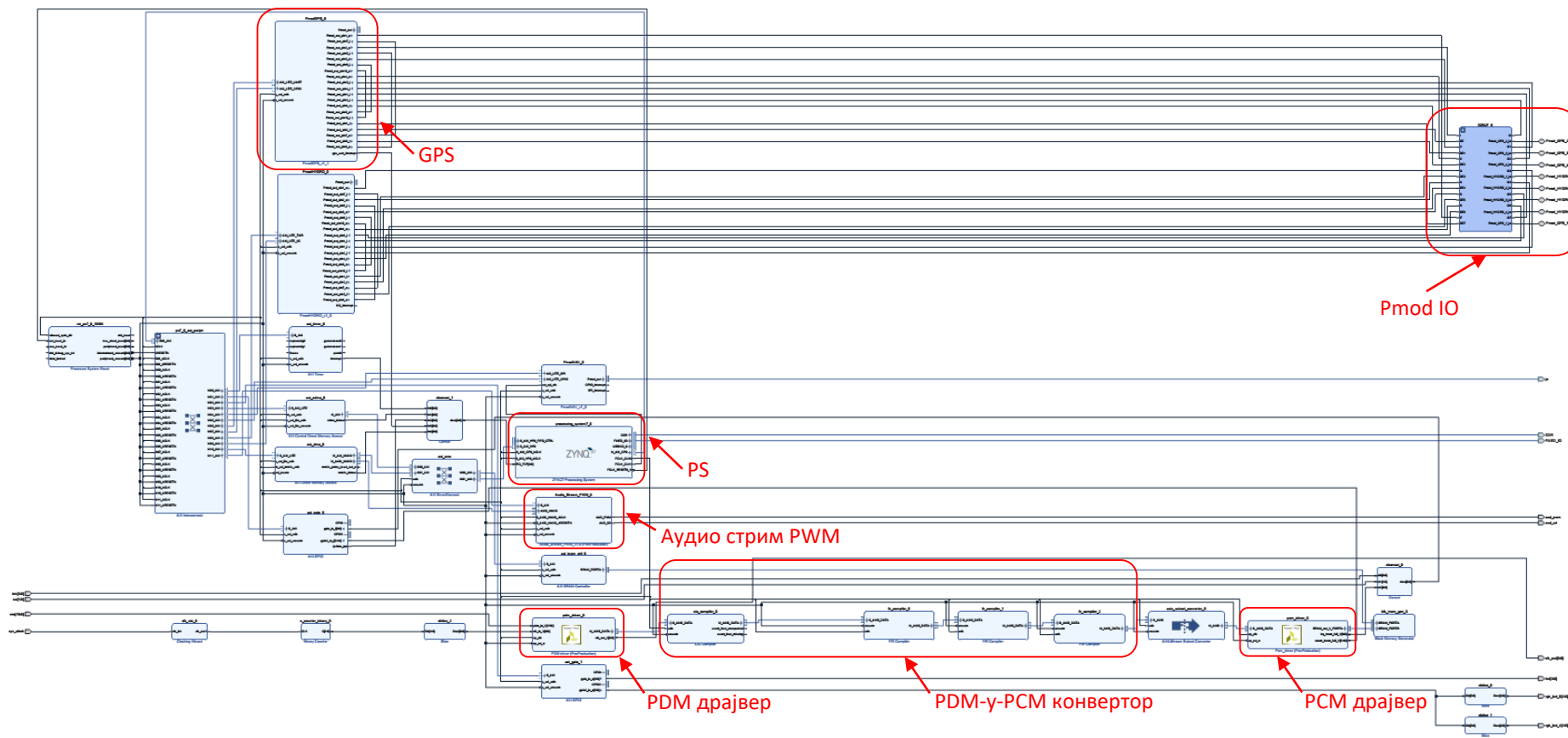
Слика 10 Мерни систем током мерења на терену

Блок за обраду (*post processing*) и кориснички интерфејс представља РС рачунар са посебно развијеном апликацијом у програмском пакету *MATLAB*, за обраду података са SD картице и корисничким интерфејсом за приказ резултата мерења.

Опис фирмвера

FPGA системи најчешће се дизајнирају применом језика као што је VHDL (*Very high-speed integrated circuit Hardware Description Language*). За реализацију дела система у FPGA компоненти (PL) коришћено је софтверско развојно окружење *Xilinx Vivado Design Suite*, које, између осталог, пружа могућност дизајнирања појединих делова система у виду IP (*Intellectual Property*) блокова помоћу Vivado HLS софтверског пакета за пројектовање на основу алогоритама писаних у неком од виших програмских језика, као што је C/C++. На слици приказан је блок дијаграм реализованог PL дела у развојном окружењу *Xilinx Vivado Design Suite*. За реализацију PS дела система коришћено је *Xilinx SDK* развојно окружење за апликативни развој.

Анализом захтева система за конкретну примену одређене су потребне карактеристике излазних аудио фајлова: фреквенција одабирања 48 kHz са резолуцијом од 24 бита.



Слика 11 Блок дијаграм реализованог PL дела у развојном окружењу *Xilinx Vivado Design Suite*

Реализација PL дела система

У оквиру PL дела система реализована је аквизиција података са микрофона у PDM формату и конверзија у PCM формат. За манипулисање подацима који се воде на блок у коме се врши конверзија из PDM формата у PCM формат, као и излазним подацима из тог блока, креирани су IP блокови PDM драјвер и PCM драјвер у Вивадо ХЛС софтверском пакету. Блок PDM-у-PCM конвертор добијен је каскадним повезивањем постојећих филтарских блокова (*Xilinx CIC Compiler v4.0* и *FIR Compiler v7.2*).

С обзиром на то да перформансе једног оваквог система (пре свега у смислу исправне аквизиције података у реалном времену са задатог броја улазних сигнала) зависе од начина на који се приступа меморији, веома је важно да систем буде структуриран тако да се омогући што већи проток података уз коришћење минималне количине ресурса. У овој реализацији задовољавајућ квалитет постигнут је коришћењем DMA (*Direct Memory Access*) контролера.

PDM драјвер

На дигиталне MEMS микрофоне доводи се сигнал такта фреквенције 3.072 MHz, којом се врши одабирање PDM сигнала на излазу из микрофона. Аквизиција се врши паралелно са свих канала на узлазну/силазну ивицу сигнала такта. Једнобитни PDM подаци шаљу се на излаз блока у виду двобитне представе у комплементу двојке, према захтеву формата улаза у наредни блок (*CIC (Cascaded Integrator Comb)* филтар). Подаци се шаљу у стриму, у TDM (*Time-Division Multiplexing*) формату.

PDM-у-PCM конвертор

У оквиру блока PDM-у-PCM конвертор врши се конверзија сигнала: улазни једнобитни ПДМ сигнал фреквенције одабирања 3.072 MHz конвертује се у 24-битни 32 kHz PCM сигнал па је фактор децимације 96. Ова конверзија реализована је у три корака: 1) децимација коришћењем CIC филтра; 2) филтрирање коришћењем два 2:1 НВ (*Half Band*) филтра; 3) филтрирање FIR (*Finite Impulse Response*) филтром пропусником опсега [36]-[38]. С обзиром на то да је сигма-делта модулатор у MEMS микрофону четвртог реда, CIC дециматор је петог реда, са фактором децимације 24, док су фактори децимације НВ филтара 2.

Генератор PWM аудио сигнала

Развојна плоча *Digilent Arty Z7-10* [21] поседује моно аудио излаз на 3,5 mm аудио конектору. У IP блоку *Audio_Stream_PWM* од аудио сигнала, који се доводи на улаз овог блока из PS дела, генерише се PWM сигнал, фреквенције 200 kHz, који се преко *Sallen-Key Butterworth*-овог нископропусног филтра 4. реда доводи на аудио конектор. Овај сигнал се даље доводи на звучник.

PCM драјвер

Овај блок реализован је тако да прима 24-битне PCM податке са више канала у стриму и слаже их у временски мултиплекс, како би се подаци складиштили на SD картици у том облику.

Реализација PS дела система

За реализацију PS дела система коришћено је *Xilinx* SDK развојно окружење за апликативни развој. Оно је компатибилно са *Xilinx Vivado Design Suite* окружењем из ког је експортирана

конфигурација дизајниране хардверске платформе, како би на њој могао да се развија софтвер. Софтвер је подељен на два дела.

Један део софтвера базира се на обради прекида генерисаних по скупљању одређене количине података у РСМ драјверу. Ови подаци се даље смештају у бафер и складиште на SD картицу заједно са подацима са GPS и потенцијално других модула у фајловима одређене величине и формата. На РС рачунару, на коме се врши обрада ових података, написан је посебан програм у С програмском језику за издвајање појединачних аудио записа са сваког од микрофона, као и података са додатних модула.

Други део софтвера служи за генерисање побудног сигнала. Побудни сигнал је експоненцијални *sine sweep* (*Exponential Sine Sweep* – ESS) сигнал у опсегу од $f_1 = 20$ Hz до $f_2 = 24$ kHz, трајања $T = 2$ s, и добија се по формули:

$$s(t) = \sin \left[K \cdot \left(e^{\frac{t}{L}} - 1 \right) \right], \quad (7)$$

где су

$$K = \frac{T \cdot 2\pi f_1}{\ln \left(\frac{f_1}{f_2} \right)} \quad (8)$$

$$L = \frac{T}{\ln \left(\frac{f_1}{f_2} \right)}. \quad (9)$$

Овако генерисани ESS сигнал понавља се 16 пута приликом једног снимања, како би се уредњавањем током обраде побољшао однос сигнал/шум.

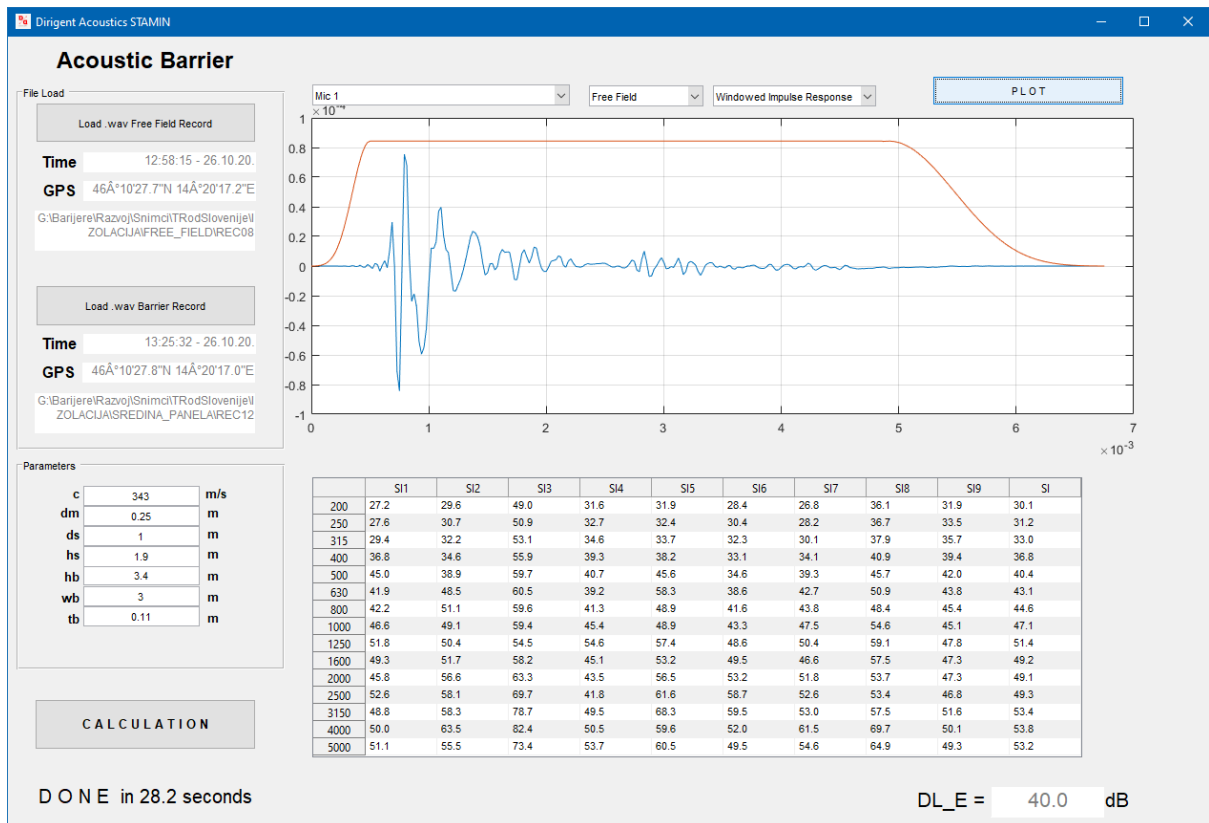
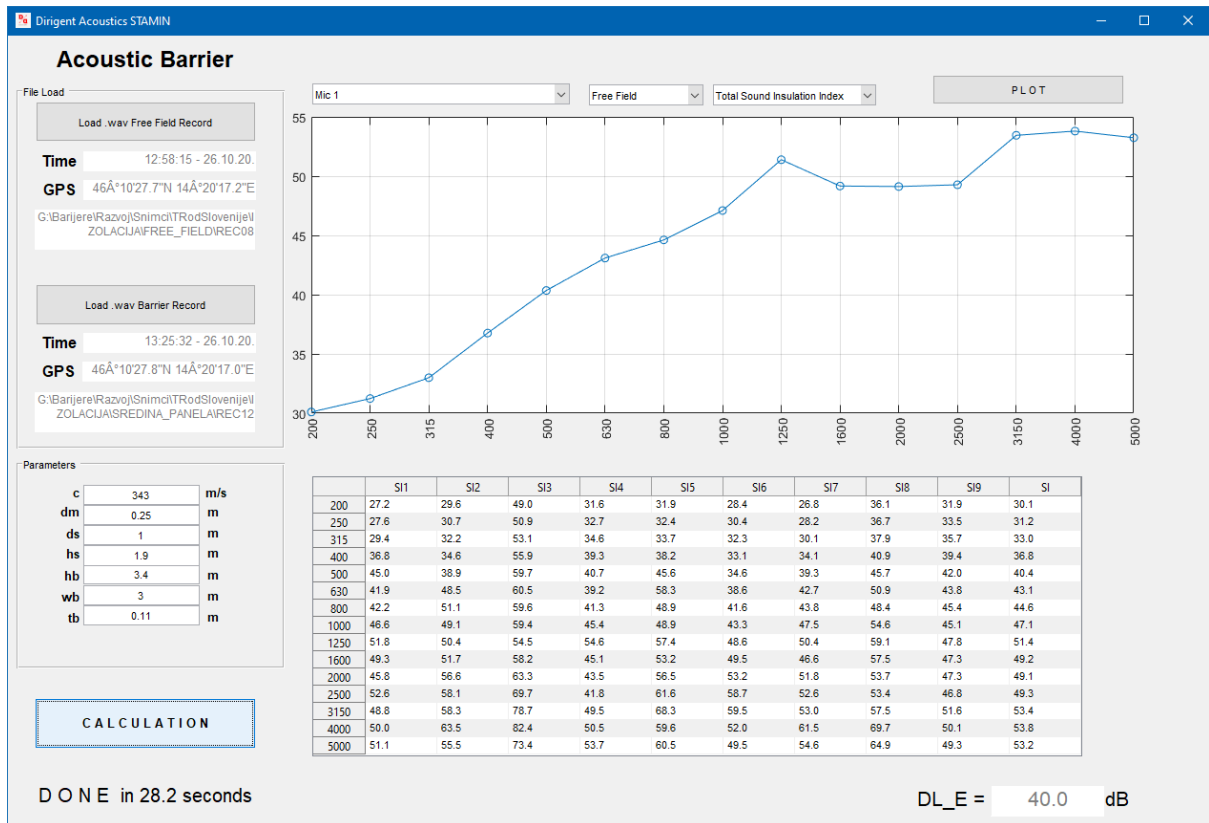
Апликације за обраду података са корисничким нтерфејсом за приказ резултата

Апликације за обраду података са корисничким нтерфејсом за приказ резултата реализована је у софтверском пакету MATLAB. Реализоване су две апликације, за индекс SI и за индекс RI, базиране на методама прорачуна из стандарда EN 1793-5 [5] и EN 1793-6 [6]. За обе апликације корисник уноси путању до бинарног фајла који је резултат мерења у слободном простору, као и до бинарног фајла, који је резултат мерења у присуству баријере (препука је да се ови фајлови прекопирају на РС рачунар са SD картице). Током учитавања података најпре се покреће посебно написан програм, за издвајање појединачних аудио записа са сваког од микрофона, као и података са додатних (GPS) модула. Затим се подешавају параметри поставке мерења (слике 3 и 4) и покреће се прорачун притиском на дугме „CALCULATION“.

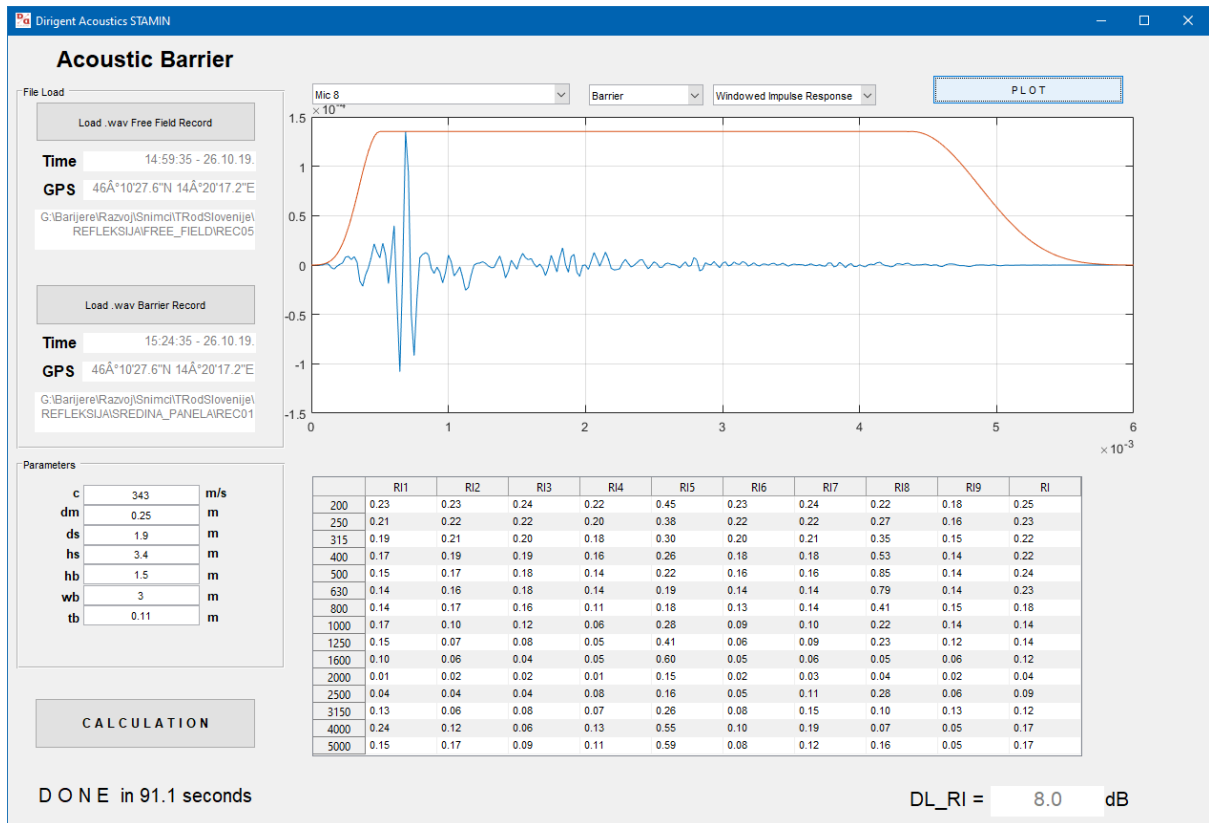
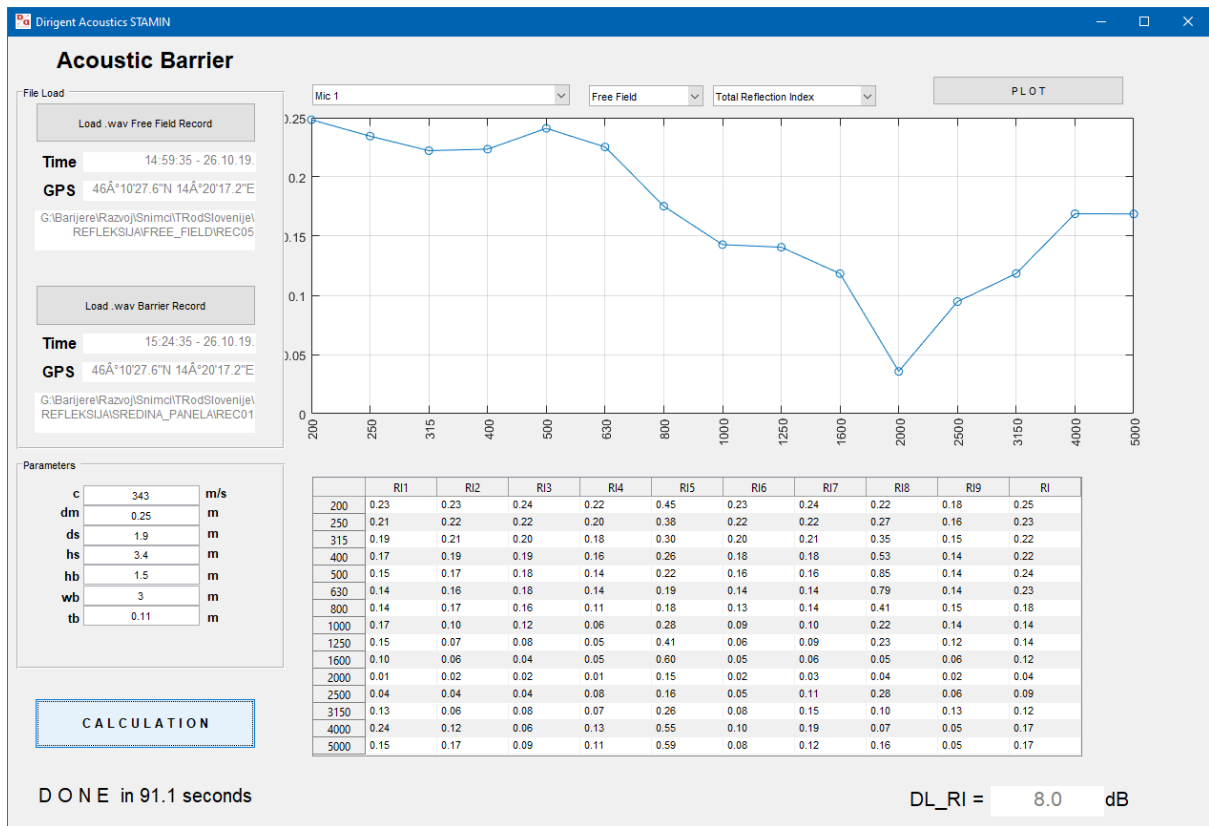
Кориснички интерфејс SI апликације са резултатима прорачуна приказан је на слици 12. Кориснички интерфејс омогућава приказ изгледа импулсних одзива сваког од микрофона у сваком мерењу, индексе SI за сваки од микрофона појединачно, као и укупан SI индекс. На првој слици је приказан резултат мерења SI индекса, док је на другој слици приказан изглед импулсног одзива у слободном простору филтриран *Adrienne* временским прозором.

Кориснички интерфејс RI апликације са резултатима прорачуна приказан је на слици 13. На првој слици је приказан резултат мерења RI индекса, док је на другој слици приказан

изглед импулсног одзива рефлексије од баријере филтриран *Adrienne* временским прозором.



Слика 12 Кориснички интерфејс SI апликације и резултати једног мерења



Слика 13 Кориснички интерфејс RI апликације и резултати једног мерења

Референце:

- [1] World Health Organization (WHO), "Guidelines for Community Noise," 1999
- [2] World Health Organization (WHO), "Night Noise Guidelines for Europe," 2009
- [3] World Health Organization (WHO), "Burden of Disease from Environmental Noise - Quantification of Healthy Life Years Lost in Europe," 2011
- [4] World Health Organization (WHO), "Environmental Noise Guidelines for the Europe Region," 2011
- [5] European Committee for Standardization. EN 1793-5:2018 Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 5: Intrinsic characteristics - In situ values of sound reflection under direct sound field conditions, 2018
- [6] European Committee for Standardization. EN 1793-6:2018 Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 6: Intrinsic characteristics - In situ values of airborne sound insulation under direct sound field conditions, 2018
- [7] ADRIENNE Project Team, SMT Project MAT1-CT94049 Final Report, 1998.
- [8] European Committee for Standardization. CEN/TS 1793-5:2003 road traffic noise reducing devices – test method for determining the acoustic performance – Part 5: Intrinsic characteristics – In situ values of sound reflection and airborne sound insulation; 2003
- [9] QUIESST - QUIetening the Environment for a Sustainable Surface Transport, FP7/2007-2012 <http://quiesst.ait.ac.at/>
- [10] QUISTIM - QUIetness & Economics STImulate Infrastructure Management, CEDR Transnational Road Research Programme 2013 – 2014, <http://www.questim.org/>
- [11] European Committee for Standardization. EN 1793-1:2017 - Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 1: Intrinsic characteristics of sound absorption under diffuse sound field conditions, 2017
- [12] European Committee for Standardization. EN 1793-2:2018 - Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 2: Intrinsic characteristics of airborne sound insulation under diffuse sound field conditions, 2018
- [13] European Committee for Standardization. EN 1793-3:1997 - Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 3: Normalized traffic noise spectrum, 1997
- [14] P. Von Pflug, D. Krischker, "Aspects of the use of mems microphones in phased array systems," InterNoise, Proc.Conference pp. 5983–5993, Hong Kong, August 27-30, 2017
- [15] InvenSense: ADMP621 datasheet — Wide Dynamic Range Microphone with PDM Digital Output, Technical Report DS-ADMP621-00, InvenSense Inc. San Jose, CA, USA, 2013
- [16] B. G. Tomov, J. A. Jensen, "A new architecture for a single-chip multichannel beamformer based on a standard FPGA," IEEE Ultrasonics Symposium, Vol. 2, pp. 1529-1533, Atlanta, GA, 07 Oct – 10 Oct 2001
- [17] B. Zimmermann, C. Studer, "FPGA-based real-time acoustic camera prototype," Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), Paris, France, May 30-June 2 2010
- [18] B. da Silva, L. Segers, A. Braeken, A. Touhafi, "Runtime Reconfigurable Beamforming Architecture for Real-Time Sound-Source Localization," 26th International Conference on Field-Programmable Logic and Applications, Lausanne, Switzerland, August 29th-September 2nd 2016
- [19] B. da Silva, A. Braeken, A. Touhafi, "FPGA-Based Architectures for Acoustic Beamforming with Microphone Arrays: Trends, Challenges and Research Opportunities," Computers 2018, 7, 41.
- [20] I. Salom, V. Čelebić, M. Milanović, D. Todorović, J. Prezelj, "An implementation of beamforming algorithm on FPGA platform with digital microphone array," Audio Engineering Society 138th Convention, Warsaw, Poland, May 7-10, 2015

- [21] I. Salom, V. Čelebić, V. Ćatić, J. Novaković, B. Planić, V. Janić, M. Ralić, D. Todorović, "Platform for Realization of Advanced Acoustic Camera," ETRAN 2019, Conf. Proc., Srebrno jezero, Serbia, 2019
- [22] Digilent: Arty Z7 Reference Manual,
<https://reference.digilentinc.com/reference/programmable-logic/arty-z7/reference-manual>
- [23] Xilinx: Zynq-7000 All Programmable SoC Technical Reference Manual, UG585 (v1.12.1), December 6, 2017, <http://www.xilinx.com>
- [24] <https://reference.digilentinc.com/reference/pmod/pmodgps/reference-manual>

Допринос аутора:

Пројектни задатак и супервизија пројекта: Дејан Тодоровић

Руковођење пројектним тимом ИМП: Ива Салом

Реализација хардвера: Ива Салом, Горан Димић

Реализација *firmware*-а: Братислав Планић, Владимир Ћатић

Реализација механике и повезивање система: Дејан Тодоровић

Реализација апликације: Ива Салом, Мина Косић

Тестирање система: Дејан Тодоровић, Ива Салом

Листа раније прихваћених
техничких решења
по ауторима

ДЕЈАН ТОДОРОВИЋ

2019.

1. Владимир Ћатић, Ива Салом, Владимир Челебић, Дејан Тодоровић, Јована Новаковић, Братислав Планић, Вељко Јанић, Марко Ралић, Ивана Николић, Наталија Кокић, “Унапређена акустичка камера за посебне намене” – М84
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2019/TR32038_2019A1.pdf

2018.

1. Јована Новаковић, Ива Салом, Владимир Челебић, Дејан Тодоровић, Владимир Ћатић, Вељко Јанић, Братислав Планић, “Акустичка камера за посебне намене” – М82
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/TR32038_2018A1.pdf
2. Владимир Ћатић, Ива Салом, Владимир Челебић, Дејан Тодоровић, Наталија Лукић, Ивана Николић, “Софтверска симулација акустичке камере са beamforming алгоритмом” – М85
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/TR32038_2018A2.pdf

ИВА САЛОМ

2019.

1. Вељко Јанић, Валентина Тимченко, Славица Боштјанчич Ракас, Ива Салом, Иван Кокић, Владимир Ћатић, Братислав Планић, Вукашин Ристић, “МІКМЕ Pocket – бежични аудио снимач” – М83.
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2019/III44003-2019-M83-MIKME_Pocket.pdf
2. Владимир Челебић, Миленко Кабовић, Анка Кабовић, Ива Салом, Јованка Гајица, “Сервер за централизовано надгледање и синхронизацију времена телештитних терминала у мрежи ЕМС АД” – М84
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2019/TR32037_2019A1.pdf
3. Владимир Челебић, Ива Салом, Миленко Кабовић, Анка Кабовић, Јованка Гајица, “Мерне методе за одређивање тачности процеса синхронизације времена на уређају за пренос сигнала телештите” – М84
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2019/TR32037_2019A2.pdf
4. Владимир Ћатић, Ива Салом, Владимир Челебић, Дејан Годоровић, Јована Новаковић, Братислав Планић, Вељко Јанић, Марко Ралић, Ивана Николић, Наталија Кокић, “Унапређена акустичка камера за посебне намене” – М84
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2019/TR32038_2019A1.pdf

2018.

1. Јована Новаковић, Ива Салом, Владимир Челебић, Дејан Годоровић, Владимир Ћатић, Вељко Јанић, Братислав Планић, “Акустичка камера за посебне намене” – М82
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/TR32038_2018A1.pdf
2. Владимир Челебић, Миленко Кабовић, Анка Кабовић, Ива Салом, Јованка Гајица, Братислав Планић, “Унапређени телештитни терминал TZ-600 за повећање расположивости и убрзање преноса сигнала дистантне заштите за потребе ЈП ЕПС, огранак ХЕ Ђердап” – М84
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/TR32037_2018A2.pdf
3. Владимир Ћатић, Наталија Лукић, Ива Салом, Братислав Планић, Горан Димић, Иван Кокић, “Унапређење система за аутоматско тестирање хардверских јединица уређаја МІКМЕ у процесу производње са проширењем примене на нове верзије уређаја и са додавањем нових опција” – М83
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/III44003-2018A1.pdf>
4. Владимир Ћатић, Ива Салом, Владимир Челебић, Дејан Годоровић, Наталија Лукић, Ивана Николић, “Софтверска симулација акустичке камере са beamforming алгоритмом” – М85
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/TR32038_2018A2.pdf
5. Владимир Челебић, Миленко Кабовић, Анка Кабовић, Ива Салом, Јованка Гајица, “Надоградња система за пренос сигнала телештите у мрежи преноса ЕМС АД имплементацијом синхронизације тачног времена” – М84
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/TR32037_2018A1.pdf
6. Братислав Планић, Вељко Јанић, Ива Салом, Вукашин Ристић, Горан Димић, Владислав Миленковић, Лазар Бербаков, “Побољшање квалитета аудио сигнала самосталног Bluetooth микрофона МІКМЕ студијског квалитета” – М83
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/TR32043_2018A2.pdf

2017.

1. Владислав Миленковић, Владимир Челебић, Братислав Планић, Ива Салом, Вукашин Ристић, Бојан Косић, Горан Димић, Ненад Антонић, “Реализација уређаја за тестирање и анализу рада система за пренос сигнала телешащитите” – М85
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2017/TR32043-2017-IMP-M85-TTZ.pdf>
2. Вукашин Ристић, Братислав Планић, Ива Салом, Жељко Стојковић, Владимир Челебић, Горан Димић, Ненад Антонић, Бојан Косић, Владислав Миленковић, “Самостални Bluetooth микрофон студијског квалитета – МИКМЕ” – М81
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2017/TR32043-2017-IMP-M81-МИКМЕ.pdf>

2016.

1. Владимир Челебић, Анка Кабовић, Миленко Кабовић, Јованка Гајица, Ива Салом, Јелена Васиљевић, Драгослав Мијић, “Повезивање телешащитног терминала на резервни преносни пут преко Етернет интерфејса у мрежи ЕМС-а” – М84;
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2016/TR32037-2016A2.pdf>
2. Ива Салом, Владимир Челебић, Миленко Кабовић, Наталија Лукић, Владимир Ћатић, Вукашин Ристић, Јованка Гајица, Марко Оклубија, Ненад Карталовић, Миомир Мијић, “Решење проблема нелинеарности напонски контролисаног појачавача са JFET транзистором” – М85
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2016/TR32038-2016A1.pdf>
3. Ива Салом, Вукашин Ристић, Миленко Кабовић, Владимир Челебић, Жељко Стојковић, Наталија Лукић, Владимир Ћатић, Лазар Бербаков, Бојан Косић, “Алгоритамска компензација разлике компоненти JFET-а за контролу појачања у напонски контролисаном појачавачу” – М85
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2016/TR32043-2016-M85-IMP-JFET.pdf>
4. Владимир Ћатић, Наталија Лукић, Ива Салом, Вукашин Ристић, Миленко Кабовић, Никола Ненадић, Жељко Стојковић, Горан Димић, Ненад Антонић, Бојан Косић, “Систем за аутоматско тестирање хардверских јединица уређаја МИКМЕ у процесу производње” – М81
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2016/TR32043-2016-M81-IMP-МИКМЕАТЕ.pdf>

2015.

1. Владимир Челебић, Миленко Кабовић, Ива Салом, Јованка Гајица, “Оптички интерфејс ИМП терминала за телешащититу са мултиплексерском опремом” – М84
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2015/TR32037-2015A1.pdf>
2. Анка Кабовић, Миленко Кабовић, Јелена Васиљевић, Ива Салом, Владимир Челебић, Јованка Гајица, “Софтвер за симулацију размене GOOSE поруке између заштитног релеа и телешащитног уређаја у подстаници” – М85
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2015/TR32037-2015A2.pdf>

БРАТИСЛАВ ПЛАНИЋ

2019.

1. Вељко Јанић, Валентина Тимченко, Славица Боштјанчич Ракас, Ива Салом, Иван Кокић, Владимир Ћатић, Братислав Планић, Вукашин Ристић, “МІКМЕ Pocket – бежични аудио снимач” – М83.
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2019/III44003-2019-M83-MIKME_Pocket.pdf
2. Владимир Ћатић, Ива Салом, Владимир Челебић, Дејан Годоровић, Јована Новаковић, Братислав Планић, Вељко Јанић, Марко Ралић, Ивана Николић, Наталија Кокић, “Унапређена акустичка камера за посебне намене” – М84
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2019/TR32038_2019A1.pdf

2018.

1. Јована Новаковић, Ива Салом, Владимир Челебић, Дејан Годоровић, Владимир Ћатић, Вељко Јанић, Братислав Планић, “Акустичка камера за посебне намене” – М82
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/TR32038_2018A1.pdf
2. Владимир Челебић, Миленко Кабовић, Анка Кабовић, Ива Салом, Јованка Гајица, Братислав Планић, “Унапређени телештитни терминал TZ-600 за повећање расположивости и убрзање преноса сигнала дистантне заштите за потребе ЈП ЕПС, огранак ХЕ Ђердап” – М84
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/TR32037_2018A2.pdf
3. Владимир Ћатић, Наталија Лукић, Ива Салом, Братислав Планић, Горан Димић, Иван Кокић, “Унапређење система за аутоматско тестирање хардверских јединица уређаја МІКМЕ у процесу производње са проширењем примене на нове верзије уређаја и са додавањем нових опција” – М83
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/III44003-2018A1.pdf>
4. Братислав Планић, Вељко Јанић, Ива Салом, Вукашин Ристић, Горан Димић, Владислав Миленковић, Лазар Бербаков, “Побољшање квалитета аудио сигнала самосталног Bluetooth микрофона МІКМЕ студијског квалитета” – М83
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/TR32043_2018A2.pdf

2017.

1. Владислав Миленковић, Владимир Челебић, Братислав Планић, Ива Салом, Вукашин Ристић, Бојан Косић, Горан Димић, Ненад Антонић, “Реализација уређаја за тестирање и анализу рада система за пренос сигнала телештите” – М85
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2017/TR32043-2017-IMP-M85-TTZ.pdf>
2. Вукашин Ристић, Братислав Планић, Ива Салом, Жељко Стојковић, Владимир Челебић, Горан Димић, Ненад Антонић, Бојан Косић, Владислав Миленковић, “Самостални Bluetooth микрофон студијског квалитета – МІКМЕ” – М81
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2017/TR32043-2017-IMP-M81-MIKME.pdf>
3. Наталија Лукић, Владимир Ћатић, Вељко Јанић, Владислав Миленковић, Ненад Антонић, Вукашин Ристић, Братислав Планић, Жељко Стојковић, Владимир Челебић, Горан Димић, Иван Кокић, “Окружење за аутоматско тестирање система за аквизицију и обраду података” – М84
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2017/III44003-2017-M84-ATE.pdf>

ГОРАН ДИМИЋ

2019.

1. Лазар Бербаков, Чарна Јовановић, Марина Светел, Јелена Васиљевић, Горан Димић, Ненад Радуловић, “Систем за мерење тремора главе коришћењем инерцијалних сензора” – М81
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2019/TR32043-2019-M81-tremor.pdf>

2018.

1. Б. Планић, Вељко Јанић, Ива Салом, Вукашин Ристић, Горан Димић, Владислав Миленковић, Лазар Бербаков, “Побољшање квалитета аудио сигнала самосталног Bluetooth микрофона МИКМЕ студијског квалитета” – М83
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/TR32043_2018A2.pdf
2. Наталија Лукић, Владимир Ћатић, Ива Салом, Братислав Планић, Горан Димић, Иван Кокић, “Унапређење система за аутоматско тестирање хардверских јединица уређаја МИКМЕ у процесу производње са проширењем примене на нове верзије уређаја и са додавањем нових опција” – М83
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/III44003-2018A1-M83-МИКМЕ-АТЕ.pdf>
3. Ивана Николић, Ненад Антонић, Иван Кокић, Бојан Косић, Марко Николић, Ина Масникоса, Горан Димић, “Унапређење железничке сигналне светилке у ЛЕД технологији за употребу у електронској поставници” – М83
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/TR32043_2018A1.pdf

2017.

1. В. Ристић, Б. Планић, И. Салом, Ж. Стојковић, Владимир Челебић, Г. Димић, Н. Антонић, Б. Косић, Владислав Миленковић, “Самостални Bluetooth микрофон студијског квалитета – МИКМЕ”
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2017/TR32043-2017-IMP-M81-МИКМЕ.pdf>
2. Наталија Лукић, Владимир Ћатић, Вељко Јанић, Владислав Миленковић, Ненад Антонић, Вукашин Ристић, Братислав Планић, Жељко Стојковић, Владимир Челебић, Горан Димић, Иван Кокић, “Окружење за аутоматско тестирање система за аквизицију и обраду података” – М84
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2017/III44003-2017-M84-АТЕ.pdf>
3. Марјан Ђурић, Вукашин Ристић, Бојан Косић, Горан Димић, Ненад Антонић, Владислав Миленковић, Ина Масникоса, “Модификован регистрофонски систем за потребе железнице” – М85
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2017/TR32043-2017-IMP-M85-REG-ZEL.pdf>
4. Владислав Миленковић, Владимир Челебић, Братислав Планић, Ива Салом, Вукашин Ристић, Бојан Косић, Горан Димић, Ненад Антонић, “Реализација уређаја за тестирање и анализу рада система за пренос сигнала телештита” – М85
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2017/TR32043-2017-IMP-M85-TTZ.pdf>

2016.

1. Владимир Ћатић, Наталија Лукић, Ива Салом, Вукашин Ристић, Миленко Кабовић, Никола Ненадић, Жељко Стојковић, Горан Димић, Ненад Антонић, Бојан Косић, “Систем за аутоматско тестирање хардверских јединица уређаја МИКМЕ у процесу производње” – М81
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2016/TR32043-2016-M81-IMP-MIKMEATE.pdf>

2015.

1. Иван Тодоровић, Милош Милутиновић, Бојан Косић, Вукашин Ристић, Ненад Антонић, Богдан Павковић, Горан Димић, “Firmware уређаја за управљање светлосним ефектима у мултимедијалним просторима” – М85
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2015/TR32043-2015-IMP-fw-light-show.pdf>

ВЛАДИМИР ЋАТИЋ

2019.

1. Вељко Јанић, Валентина Тимченко, Славица Боштјанчич Ракас, Ива Салом, Иван Кокић, Владимир Ћатић, Братислав Планић, Вукашин Ристић, “МІКМЕ Pocket – бежични аудио снимач” – М83.
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2019/III44003-2019-M83-MIKME_Pocket.pdf
2. Владимир Ћатић, Ива Салом, Владимир Челебић, Дејан Годоровић, Јована Новаковић, Братислав Планић, Вељко Јанић, Марко Ралић, Ивана Николић, Наталија Кокић, “Унапређена акустичка камера за посебне намене” – М84
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2019/TR32038_2019A1.pdf

2018.

1. Јована Новаковић, Ива Салом, Владимир Челебић, Дејан Годоровић, Владимир Ћатић, Вељко Јанић, Братислав Планић, “Акустичка камера за посебне намене” – М82
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/TR32038_2018A1.pdf
2. Владимир Ћатић, Наталија Лукић, Ива Салом, Братислав Планић, Горан Димић, Иван Кокић, “Унапређење система за аутоматско тестирање хардверских јединица уређаја МІКМЕ у процесу производње са проширењем примене на нове верзије уређаја и са додавањем нових опција” – М83
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/III44003-2018A1.pdf>
3. Владимир Ћатић, Ива Салом, Владимир Челебић, Дејан Годоровић, Наталија Лукић, Ивана Николић, “Софтверска симулација акустичке камере са beamforming алгоритмом” – М85
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2018/TR32038_2018A2.pdf

2017.

1. Наталија Лукић, Владимир Ћатић, Вељко Јанић, Владислав Миленковић, Ненад Антонић, Вукашин Ристић, Братислав Планић, Жељко Стојковић, Владимир Челебић, Горан Димић, Иван Кокић, “Окружење за аутоматско тестирање система за аквизицију и обраду података” – М84
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2017/III44003-2017-M84-ATE.pdf>

2016.

1. Ива Салом, Владимир Челебић, Миленко Кабовић, Наталија Лукић, Владимир Ћатић, Вукашин Ристић, Јованка Гајица, Марко Окљобџија, Ненад Карталовић, Миомир Мијић, “Решење проблема нелинеарности напонски контролисаног појачавача са JFET транзистором” – М85
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2016/TR32038-2016A1.pdf>
2. Ива Салом, Вукашин Ристић, Миленко Кабовић, Владимир Челебић, Жељко Стојковић, Наталија Лукић, Владимир Ћатић, Лазар Бербаков, Бојан Косић, “Алгоритамска компензација разлике компоненти JFET-а за контролу појачања у напонски контролисаном појачавачу” – М85
<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2016/TR32043-2016-M85-IMP-JFET.pdf>
3. Владимир Ћатић, Наталија Лукић, Ива Салом, Вукашин Ристић, Миленко Кабовић, Никола Ненадић, Жељко Стојковић, Горан Димић, Ненад Антонић, Бојан Косић, “Систем за аутоматско тестирање хардверских јединица уређаја МІКМЕ у процесу

производње” – M81

<http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2016/TR32043-2016-M81-IMP-MIKMEATE.pdf>

4. Милан Оклобција, Иван Годоровић, Марко Ралић, Марко Оклобција, Вукашин Ристић, Владимир Ћатић, Иван Кокић, “Мултимедијални уређај за управљање аудио/видео садржајем и осветљењем у контролним собама и салама за састанке” – M83

http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2016/III44003-2016-M83-IMP-LIVIAU_S.pdf

МИНА КОСИЋ (РАДИВОЈЕВИЋ)

2019.

1. Ивана Николић, Бојан Косић, Мина Радивојевић, Јована Новаковић,
“Успостављање комуникације између процесорских јединица у асиметричним
вишепроцесорским системима” – М85
http://www.imptelecom.com/media/TehnickaResenja/2019/TR32037_2019A4.pdf

Број 2400/1-20

Датум: 13 OCT 2020 год.

Ugovorne strane:

Dirigent Acoustics doo

Број 26-1/20

16.10. 2020. год.
Београд

Dirigent Acoustics d.o.o. Mažuranićeva 29/9, 11050 Beograd, Srbija (u daljem tekstu *Naručilac*), koga zastupa direktor mr Dejan Todorović, dipl. el. inž.

i

IMP Telekomunikacije d.o.o., Volgina 15, 11060 Beograd (u daljem tekstu *Izvođač*), koga zastupa direktor Željko Stojković, dipl. el. inž.

zaključuju

UGOVOR

I. PREDMET UGOVORA

Član 1.

Izvođač će za *Naručioca* razviti merni sistem za *in situ* merenje akustičih karakteristika zvučnih barijera: indeksa refleksije RI i indeksa zvučne izolacije SI, za realizaciju mernih metoda definisanih standardima EN 1793-5 i EN 1793-6, u daljem tekstu *Uređaj*. Namena *Uređaja* je utvrđivanje kvaliteta instaliranih zvučnih barijera.

Izvođač će *Naručiocu* isporučiti jedan komad potpuno funkcionalnog *Uređaja*.

Član 2.

Uređaj se sastoji od sledećih hardverskih delova:

1. senzorski blok (mikrofonski niz),
2. zvučni izvor,
3. platforma za generisanje, akviziciju, obradu i skladištenje podataka, zajedno sa GPSmodulom,
4. napajanje,
5. blok za obradu (*post processing*) i korisnički interfejs.

Mikrofonski niz se sastoji od 9 parova digitalnih MEMS mikrofona u konfiguraciji 3 x 3 rešetke sa rastojanjem između susednih mikrofona od 0,4 m. Digitalni MEMS mikrofoni su postavljeni na specijalno razvijenu mikrofonsku štampanu ploču. Parovi mikrofona su odgovarajućim kablom povezani sa platformom za generisanje, akviziciju, obradu i skladištenje podataka. Platforma za generisanje, akviziciju, obradu i skladištenje podataka vrši prikupljanje i obradu više digitalnih akustičkih signala, povezivanje sa GPS modulom, skladištenje audio zapisa sa svih mikrofona na memorijskom modulu (SD kartica), kao i podataka sa GPS modula, generisanje *sin sweep* signala zadatih karakteristika.

Napajanje platforme za generisanje, akviziciju, obradu i skladištenje podataka je autonomno baterijsko.

Zvučni izvor je aktivni prenosni zvučnik, i nije predmet ovog Ugovora.

Obrada snimljenih podataka se vrši na PC računaru, koji predstavlja blok za obradu (*post processing*) i korisnički interfejs. Obrada snimljenih podataka vrši se prema metodama opisanim u standardima EN 1793-5 i EN 1793-6.

Parametri koji se zadaju su:

- rastojanje od zvučnika do barijere,
- rastojanje od mikrofonske rešetke do barijere,
- referentna visina postavke zvučnika i centra mikrofonske rešetke,
- visina i debljina zvučne barijere.

Rezultati merenja zvučne barijere koji se prikazuju su:

- grafik vrednosti indeksa zvučne izolacije SI po trećinsko oktavnim frekvencijskim opsezima od 200 Hz do 5 kHz,
- jednobrojna vrednost zvučne izolacije $DL_{SI,E}$,
- grafik vrednosti indeksa refleksije RI po trećinsko oktavnim frekvencijskim opsezima od 200 Hz do 5 kHz,
- jednobrojna vrednost zvučne izolacije DL_{RI} .

I. KVALITATIVNI I KVANTITATIVNI PRIJEM

Član 3.

Isporuka Uređaja izvršiće se u prostorijama Izvršioca. Kvalitativni prijem izvršiće se na terenu i obuhvatiće prikaz ispravnosti traženih funkcionalnih karakteristika kroz merenje zvučne barijere poznatih karakteristika.

II. VREDNOST UGOVORA

Član 4.

Naručilac se obavezuje da na ime predmeta Ugovora plati ukupan iznos od [REDACTED] uvećan za vrednost pripadajućeg PDV-a.

III. USLOVI I NAČIN PLAĆANJA

Član 5.

Plaćanje iz Člana 5 ovog Ugovora vrši se na sledeći način: 100% vrednosti Ugovora u roku od mesec dana nakon isporuke Uređaja, prema dostavljenim fakturama Izvođača.