

ДОКУМЕНТАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

ИДЕНТИФИКАЦИОНИ ПОДАЦИ

Автори решења	проф. др Златан Шошкић, проф.др Зоран Петровић, мр Бранко Радичевић, мр Небојша Богојевић
Назив техничког решења	Софтвер за прорачун локалних мапа буке
Врста техничког решења	M85-софтвер
Наручилац техничког решења	Град Краљево
Година израде решења	2011-2012
Решење прихватио	Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву
Решење реализовао	Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву
Начин верификације	Поређење са експериментално измереним вредностима поља буке у индустријском постројењу
Начин примене	Софтвер се примењује за прорачун мапа буке градских и приградских подручја угрожених буком индустријских постројења и саобраћаја.

ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

ОБЛАСТ НА КОЈУ СЕ ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ ОДНОСИ

Софтвер за мапирање локалних мапа буке по тематици и научним методама које користи припада области техничке акустике, а по примени припада области заштите животне средине.

ПРОБЛЕМ КОЈИ СЕ РЕШАВА

Приликом урбаног планирања и изградње потребно је предвидети и утицај новоизграђених објекта на животну средину, а један од тих утицаја представља емисија звука и резултујуће загађење буком. Уколико се испостави да повећање нивоа звука у окружењу превазилази допуштене границе, потребно је осмислiti поступке за умањење угрожености околине буком. За адекватну процену угрожености буком и оцену неког од предложених решења потребно је прорачунати поље нивоа звука у околини посматраних емитера са и без заштите, најчешће разматрајући више варијанти решења, међусобно поредећи звучна поља која настају као последица сваког од тих решења.

Најважнији индикатори угрожености буком су кориговани нивои дневне, вечерње и ноћне буке L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} , као и кумулативни ниво буке L_{den} (day-evening-night). Ове вредности представљају усредњене нивое буке током дугих периода који обухватају сва годишња доба и карактеристичне услове. Обзиром да бука има субјективан карактер непријатног звука који човек чује, кориговани нивои буке се не дефинишу преко нивоа звука L , који се изражава у децибелима (dB), већ преко А-пондерисаног нивоа буке, који се изражава у децибелима А-скале (dBA). Ове вредности је могуће експериментално мерити, али их је могуће и прорачунати. Обзиром на велики број тачака у којима се приказује ниво буке у мапама буке, а и на потребу предвиђања будућих стања, прорачунске методе се много више користе од мерења у сврхе мапирања буке. Код прорачунских метода се најпре дефинише мрежа пријемничких тачака; затим се на основу распореда извора буке, конфигурације терена и распореда објекта на терену, применом неког модела простирања звука врши израчунавање коригованих нивоа звука; на крају се применом просторне интерполације одређују вредности коригованих нивоа звука у тачкама између чворова мреже.

Стратешке мапе буке, поред нивоа буке, приказују проценују и број становника угрожених буком, и зато се оне морају повезати са подацима ГИС. Резултати стратешког мапирања буке се приказују изонивоским линијама у пет опсега буке. Ове мапе се користе за планирање изградње градова и за израду акционих планова заштиту од буке, чија је израда постала обавезна за велике градове у Европској Унији у складу са Директивом Европског Парламента и Савета број 2002/49/EЦ од 25.6.2002 (у стручним круговима најчешће се означава са END-„European Noise Directive“) [1], која представља најважнији документ Европске Уније везан за заштиту животне средине од буке.

С друге стране, локалне мапе буке омогућавају да се предвиди поље буке које ће настати у ограниченој подручју простора у околини једног извора буке чији се утицај проучава или умањује. Број тачака у којима се поље израчунава је мањи него код стратешких мапа буке, па мрежа тачака у којима се поље рачуна може бити довољно густа да се интерполација не мора примењивати. Број становника угрожених буком се не приказује, али је по жељно да се одреде нивои буке у великим броју тачака по површини фасада стамбених зграда. Локалне мапе буке омогућавају пројектантима системе за заштиту од буке да на брз и лак начин проучавају, пореде и оптимизују различита решења система за заштиту човекове околине од буке.

СТАЊЕ РЕШЕНОСТИ ПРОБЛЕМА У СВЕТУ И У СРБИЈИ

Основни проблем при прорачуну мапа буке представља модел простирања буке који се користи. Модели могу бити емпиријски и физички, а физички се деле на референтне и инжењерске. Емпиријски модели (као што је модел ИНМ који се користи за мапирање буке на аеродромима) се заснивају на апроксимацији експерименталних резултата математичким зависностима које имају мала одступања од тих резултата. Са друге стране, физички модели полазе од особина извора буке и моделирања процеса простирања звука као механичког таласа. У референтним моделима се процес простирања звука моделира решавањем диференцијалних једначина, док се у инжењерским моделима примењују приближне формуле изведене из референтних модела. Референтни модели су тачнији, али је њихово израчунавање дуготрајно и користи се само за формирање инжењерских модела, који се прописују релевантним међународним стандардима, као што је стандард ISO 9613 [2][3]. Приближне формуле које се користе у инжењерски моделима су изведене под одређеним ограничењима те стога њихова примена захтева разумевање тих ограничења и пажљиву припрему улазних података. Припрема улазних података подразумева описивање извора буке и дигитализовани опис модела терена, који у великој мери утиче на простирање звука путем рефлексије, а посебно дифракције таласа, које инжењерски модели не описују успешно. У пракси је за примену софтверских пакета потребно имати искусне консултанте који добро познају модел примењен у софтверском решењу. Из тог разлога је битно да, упркос постојању мноштва софтверских пакета на тржишту, постоје национални софтверски пакети за мапирање буке, и то представља један од циљева пројекта ТР37020.

Софтверски пакети за израду мапа буке су бројни, али су углавном намењени изради стратешких мапа буке, јер је након усвајања ЕНД, њихов значај на тржишту постао доминантан, обзиром на високу цену и чињеницу да је потребан управо великим, а тиме најчешће и богатијим, градовима Европе. Најпознатији софтверски пакети за стратешко мапирање буке су LimA Predictor [4], CadnA [5], IMMI [6], SoundPlan [7] и Olive Tree Lab Terrain [8]. Сви ови програмски пакети су прилагођени да буду у складу са ЕНД, и дају прописане резултате у прописаном формату. Употреба ових пакета је прилично једноставна, праћени су адекватном документацијом, а њихова тачност је доволјно висока уколико су улазни подаци припремљени на адекватан начин. Међутим, услед чињенице да ови софтверски пакети не користе исте моделе пропагације звука, и да детаљи модела представљају донекле тајну произвођача, верификација софтвера се обично врши поређењем са експерименталним резултатима а не међусобним поређењем.

Нека од поменутих софтверских решења могу да се користе и за добијање локалних мапа буке, али је њихова цена превише висока за овакве примене, па се практично у ове сврхе може користити једино програмски пакети SoundPlan и Olive Tree Lab Terrain. Са друге стране, постоји неколико програмских пакета намењених искључиво генерисању локалних мапа буке, као што је софтверски пакет SPM9613 [9], али су сви они комерцијалног типа и не постоји софтвер за генерисање локалних мапа буке у јавном власништву.

У Србији у овом трнутку на тржишту не постоји комерцијални софтверски алат за генерисање мапа буке, већ заступници иностраних компанија нуде напред наведена софтверска решења. Сви примери мапирања буке у српској литератури се искључиво користе комерцијалним софтверским решењима развијеним у иностранству [10][11]. Обзиром на наведену потребу детаљног познавања алгоритма прорачуна поља буке, развој домаћег софтверског алата за мапирање буке је потребна мера у унапређењу заштите човекове околине од буке у Србији. Развој софтвера за прорачун локалних мапа буке је први корак ка реализацији таквог софтвера.

КОНЦЕПЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Софтвер за прорачун локалних мапа буке омогућава прорачун поља буке које ствара више тачкастих извора у простору у коме постоји више линијских баријера. Поље буке је представљено чвровима тродимензионалне мреже која је формирана тако да тачке припадају површима чје све тачке имају једнаку висину у односу на терен („паралелне“ су са тереном). Терен може бити нераван, а поред поља буке које је одређено у чвровима мреже, могуће је израчунати нивое буке у изабраним карактеристичним тачкама у простору и на површинама равних фасада, при чему постоји могућност корекције због рефлексије буке од површине фасаде.

Прорачун поља буке заснива се на стандарду ISO 9613-2, према концепцији усвојеној у домаћој пракси [12].

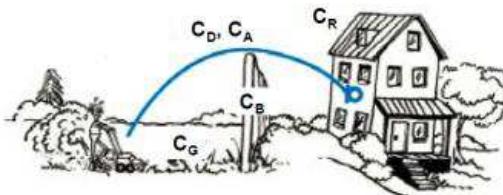
При прорачуну се претпоставља да извори буке немају изражену директивност и да су све баријере и фасаде много шире од таласне дужине звука тако да дифракциони ефекти не долазе до изражаја. Под тим претпоставкама, ниво буке у пријемној тачки (L) се може изратити формулом

$$L = L_W + C \quad (1)$$

где је са L_W означен ниво звучне снаге извора, а са C корекција пригушења звука која се у применљеном моделу изражава следећом сумом:

$$C = C_{DA} + C_G + C_B \quad (2)$$

која се састоји од следећих корекционих чланова (илустрација на слици 1):



Slika 1: Korekcije prigušenja zvuka

C_{DA} корекција на ширење звучног фронта и апсорпцију у ваздуку, која се израчунава према формули

$$C_{DA} = 11 - 20 \log(s_\perp) - s_\perp / 200 \quad (3)$$

у којој s_\perp представља најкраће нормално растојање између извора буке и пријемне тачке;

C_G корекција на апсорпцију тереном, која се израчунава према формули

$$C_G = \frac{h_m}{d} \left(34 + \frac{600}{d} \right) - 4,8 \quad (4)$$

у којој је са h_m означена средња висина линије која спаја извор и пријемник, а са d дужина те линије;

C_B корекција на пригушење баријером или баријерама, које се израчунава према формули

$$C_B = -7 \cdot \log \left(5 + \frac{70 + 0,25s_\perp}{1 + 0,2s_\perp} z_\perp K_{w\perp}^2 \right) \quad (5)$$

у којој z_\perp означава разлику путева дифрактованог и директног таласа изражену формулом

$$z_{\perp} = A_{\perp} + B_{\perp} + C_{\perp} - s_{\perp} \quad (6)$$

где A_{\perp} представља растојање од извора до горње ивице баријере, B_{\perp} представља растојање од пријемника до горње ивице баријере, а C_{\perp} представља суму дужина преломних ивица код баријера са више преломних ивица, док $K_{w\perp}$ означава метролошку поправку која се рачуна према формулама

$$K_{w\perp} = \exp\left(-\frac{1}{2000}\sqrt{\frac{A_{\perp}B_{\perp}s_{\perp}}{2z_{\perp}}}\right) \quad (7)$$

ДЕТАЉАН ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

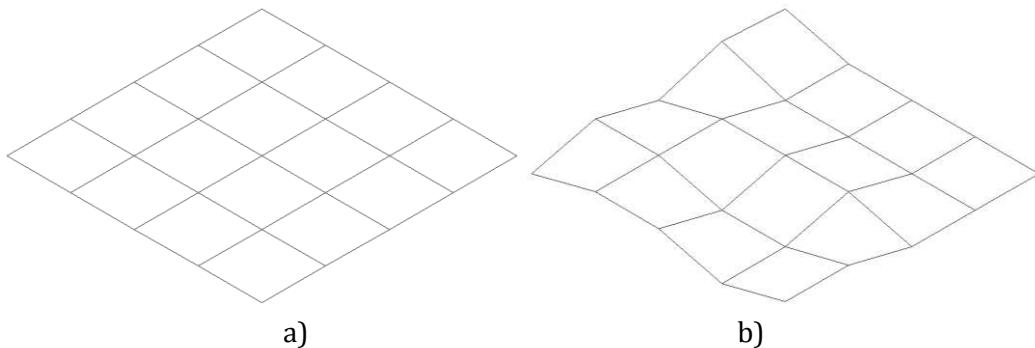
КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРОГРАМА

Програм има текстуални кориснички интерфејс, при чему се улазни подаци описују задавањем улазне датотеке, а излазни резултати се приказују на екрану и у излазној датотеци. Модел за одређивање поља буке заснива се на просторном моделу поља у коме се израчунава ниво буке (укључујући контролне тачке за израчунавање нивоа буке), моделу извора, моделу баријера.

ПОЉЕ БУКЕ

Поље буке представља простор у коме се одређују вредности нивоа буке. Сви објекти који утичу на буку (извори, пријемници, баријере, контролне тачке) морају припадати пољу буке. Поље буке се описује нивоима буке прорачунатим у тачкама које припадају еквидистантним површима које имају облик идентичан облику терена.

У најједноставнијем случају, модел терена је хоризонтална раван, а тачке представљају темена међусобно једнаких правоугаоника (види Слику 2а). Тада поље има облик квадра са страницама паралелним осама Descartesовог координатног система. Пријемничка мрежа је одређена почетном тачком са координатама (x_0, y_0, z_0) , корацима између две тачке дуж оса координатног система ($\Delta x, \Delta y, \Delta z$), и бројем тачака дуж сваке од оса координатног система (N_x, N_y, N_z). Овакав модел поља буке се у програму означава као модел поља типа 1.



Слика 2. Основа модела звучног поља а) типа 1 б) типа 2

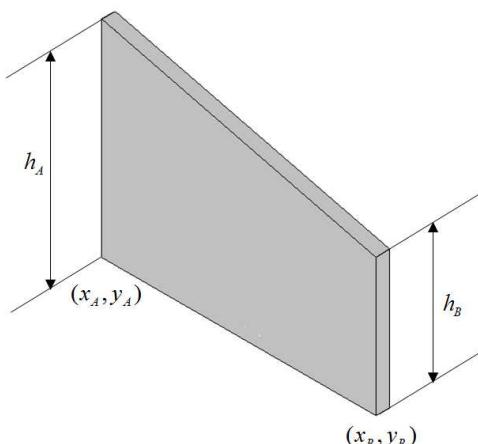
У сложенијем случају, модел терена је крива површ, док остатак поља сачињавају тачке које су једнако удаљене од терена, представљајући тако еквидистантне закривљене "слојеве" тачака (види Слику 2б). Растојање међу слојевима тачака је константно и износи Δz , а укупан број слојева износи N_z . Да би се могао користити програм за прорачун локалног поља буке, свака од површи треба да буде представљена мрежом тачака које одређују конвексне четвороуглове. Најједноставнији начин да се реализује оваква мрежа је да се тачке основе прикажу матрицом B_{ij} са димензијама $N_x \cdot N_y$, тако да координате тачака које чине матрицу (x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}) буду растуће по врстама и по колонама матрице B_{ij} . Оваквим моделом поља буке, који се у програму означава као модел поља типа 2, се

моделира нераван терен. Да би се прорачун поља извршио успешно, терен не сме значајно да заклања поједине тачке поља. Уколико на терену постоје препреке које ометају простирање звука, онда те препреке треба описати као баријере (видети одељак о баријерама), под условом да су те препреке много шире од таласне дужине звука. Уколико терен има уске и високе препреке, онда прорачун у њиховој околини није поуздан.

У стандардној верзији програма, поље може имати највише 8192 слоја ($N_z \leq 8192$), док се основа представља матрицом са највише 8192 врсте и 8192 колоне ($N_x, N_y \leq 8192$). Са овим ограничењима поље буке се представља са максимално 549.755.813.888 тачака у којима се израчува ниво буке. Повећање резолуције је могуће.

ИЗВОРИ БУКЕ

Извори буке у овој верзији програма се моделирају искључиво као тачкаст извори и описују се координатама извора (x_i, y_i, z_i) и нивоом снаге извора L_{wu} . У стандардној верзији програма је могуће користити до 256 тачкастих извора, а повећање максималног броја извора је могуће.



Слика 3. Модел баријере

БАРИЈЕРЕ

У овој верзији програма се баријере моделирају као танки равни објекти са попречним пресеком у облику трапеза. Паралелне странице трапеза су вертикалне, а трапез се описује висинама (h_A и h_B) и хоризонталном пројекцијом вертикалних страница (x_A, y_A) и (x_B, y_B) (Слика 2). Баријере сложенијег облика је могуће описати низом баријера облика трапеза. На сличан начин је могуће моделирати и терен који ствара препреке простирању звучних таласа, под условом да су много шире од таласне дужине звука.

У стандардној верзији програма је могуће користити 256 линијских баријера, а повећање максималног броја извора је могуће.

КОНТРОЛНЕ ТАЧКЕ

Поред тачака у мрежи поља буке, ниво буке може да се израчунава и у контролним тачкама. Оне су намењене провери квалитета поља буке поређењем са експерименталним резултатима. Свака контролна тачка се описује њеним Descartesовим координатама (x_k, y_k, z_k). У стандардној верзији програма могуће је користити највише 1024 контролне мрнне тачке. Повећање максималног броја контролних тачака је могуће.

ФАСАДЕ

Ниво буке се такође може израчунавати и на површини фасаде. Фасада је површина грађевинског објекта, па обзиром да фасаде представљају баријере простирању звука, постојање грађевинских објеката у пољу мора бити описано системом баријера. Фасада се у програму задаје тиме што се одређена баријера прогласи за фасаду, а поље буке на површини фасаде се израчунава у тачкама мреже које су одређене хоризонталним (Δd) и

вертикалним (Δz) кораком мреже фасаде. У стандардној верзији програма могуће је користити највише 64 фасаде. Повећање максималног броја фасада је могуће.

УПОТРЕБА

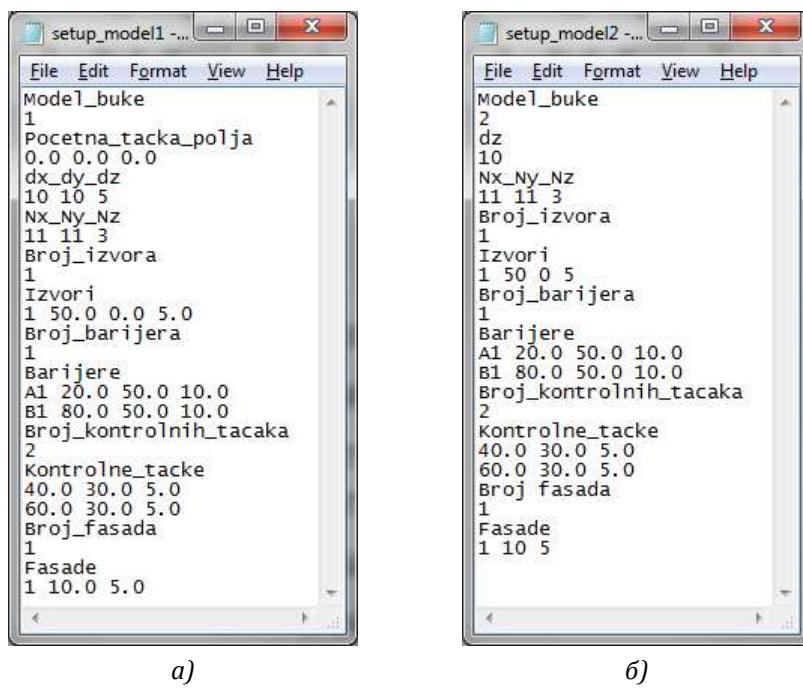
Програм се састоји од извршне датотеке "BelCo.exe", улазних датотека "setup.dat" "polje.dat", као и излазне датотеке "output.dat".

При покретању програма је потребно припремити улазну датотеку "setup.dat" прилагођавањем њеног садржаја у неком едитору текста. Улазна датотека "setup.dat" има следећи формат (Слика 4):

- Прва линија садржи произвољни текст у облику једне речи (више речи спојене повлакама), користи се као подсетник, и уобичајен садржај је "Model_buke"
- следећа линија садржи произвољни текст у облику једне речи (више речи спојене повлакама), користи се као подсетник, и уобичајен садржај је "Pocetna_tacka"
- наредна линија садржи тип модела буке, који мора бити приказан као цео број, без децималне тачке, и у овој верзији програма мора садржати вредност 1 или 2

У зависности од типа модела поља, даљи садржај датотеке "setup.dat" може бити различит:

- За модел типа 1
 - следећа линија садржи произвољни текст у облику једне речи (више речи спојене повлакама), користи се као подсетник, и уобичајен садржај је "Pocetna_tacka"
 - наредна линија садржи координате почетне тачке квадра (x_0, y_0, z_0) у формату три реална броја
 - следећа линија садржи произвољни текст у облику једне речи (више речи спојене повлакама), користи се као подсетник, и уобичајен садржај је "dx_dy_dz"
 - наредна линија садржи кораке између тачака у мрежи за израчунавање поља $\Delta x, \Delta y$ и Δz у формату три реална броја
 - следећа линија садржи произвољни текст у облику једне речи (више речи спојене повлакама), користи се као подсетник, и уобичајен садржај је "Nx_Ny_Nz"
 - наредна линија садржи број корака у мрежи за израчунавање поља Nx, Ny и Nz у формату три цела броја, без децималне тачке
- За модел типа 2
 - следећа линија садржи произвољни текст у облику једне речи (више речи спојене повлакама), користи се као подсетник, и уобичајен садржај је "dz"
 - наредна линија садржи вертикално растојање међу слојевима поља Δz у формату реалног броја
 - следећа линија садржи произвољни текст у облику једне речи (више речи спојене повлакама), користи се као подсетник, и уобичајен садржај је "Nx_Ny_Nz"
 - наредна линија садржи број корака између тачака у мрежи за израчунавање поља Nx, Ny и Nz у формату три цела броја, без децималне тачке



Слика 4. Улазна датотека а) модел поља типа 1 б) модел поља типа 2

Следи део датотеке који је исти за све моделе звучног поља:

- наредна линија садржи произвољни текст у облику једне речи (више речи спојене повлакама), користи се као подсетник, и уобичајен садржај је "Broj_izvora"
- друга линија садржи број извора, који мора бити приказан као цео број, без децималне тачке
- трећа линија садржи произвољни текст у облику једне речи (више речи спојене повлакама), користи се као подсетник, и уобичајен садржај је "Izvori"
- следе линије које описују изворе буке, при чему свака линија описује по један извор са пет бројева према следећем формату: први број (цео број, без децималне тачке) је редни број извора, затим следе три реална броја који описују координате извора, и на крају је ниво снаге буке извора
- следећа линија садржи произвољни текст у облику једне речи (више речи спојене повлакама), користи се као подсетник, и уобичајен садржај је "Broj_barijera"
- наредна линија садржи број баријера, који мора бити приказан као цео број, без децималне тачке; уколико нема баријера у пољу, треба унети број 0
- следећа линија садржи произвољни текст у облику једне речи (више речи спојене повлакама), користи се као подсетник, и уобичајен садржај је "Barijere"; ова линија остаје и уколико нема баријера у пољу;
- следе линије које описују баријере, при чему је свака баријера описана са по две линије са три броја према следећем формату: први ред описује највишу тачку једног краја баријере са њеним именом (уобичајено је, али не и обавезно да се означава са A1, A2,...) и координатама, док други ред описује највишу тачку другог краја баријере са њеним именом (уобичајено је, али не и обавезно да се означава са B1, B2,...); уколико нема баријера у пољу, ове лиње се изостављају;
- следећа линија садржи произвољни текст у облику једне речи (више речи спојене повлакама), користи се као подсетник, и уобичајен садржај је "Polje_buke"
- следећа линија садржи произвољни текст у облику једне речи (више речи спојене повлакама), користи се као подсетник, и уобичајен садржај је "Broj_kontrolnih_tacaka"

- наредна линија садржи број контролних тачака, који мора бити приказан као цео број, без децималне тачке
- следећа линија садржи произвољни текст у облику једне речи (више речи спојене повлакама), користи се као подсетник, и уобичајен садржај је "Kontrolne_tacke"
- наредне линије садрже координате изабраних тачака у којима се израчунава ниво буке, у формату три реална броја
- следећа линија садржи произвољни текст у облику једне речи (више речи спојене повлакама), користи се као подсетник, и уобичајен садржај је "Broj_fasada"
- наредна линија садржи број фасада, који мора бити приказан као цео број, без децималне тачке
- следећа линија садржи произвољни текст у облику једне речи (више речи спојене повлакама), користи се као подсетник, и уобичајен садржај је "Fasade_dd_dz"
- наредне линије садрже редни број баријере која је проглашена за фасаду (цео број, без децималне тачке), праћен са два реална броја која представљају хоризонталан и вертикалан корак мреже Δd и Δz .

Ако се користи модел поља типа 2, онда је потребно припремити и датотеку која описује терен. Датотека треба да носи назив "Polje.dat" и она треба да се налази у истом директоријуму као и програм "BelCo.exe" и датотека "setup.dat". Формат датотеке је једноставан: у сваком реду датотеке описана је по једна тачка основе поља буке описана са три реална броја који одговарају координатама тачке у Descartesовом координатном систему (x_{ij} , y_{ij} , z_{ij}). Редослед тачака треба дати тако да је матрица којом се описује основа поља буке приказује по колонама, односно, прво се мења први индекс матрице, па други индекс матрице. На пример основу поља са $3 \times 3 = 9$ тачака треба у датотеци записати на следећи начин:

```
x11 y11 z11
x21 y21 z21
x31 y31 z31
x21 y21 z21
...
x33 y33 z33
```

Након припреме улазне датотеке, покреће се програм "BelCo.exe" на неки од уобичајених начина. Уколико је улаз исправан, програм израчунава поље буке, уписује га у излазну датотеку "output.dat" (Слика 5).

Излазна датотека на почетку садржи редове који описују ниво буке у контролним тачкама, при чему је свакој контролној тачки додељен један ред. У том реду је тачка означена редним бројем, а затим су приказане координате и ниво буке у тој контролној тачки.

Након описа нивоа буке у контролним тачкама следи приказ поља на површини фасада. Поље буке на фасади је приказано груписана по хоризонталним редовима мреже, тако да је сваки хоризонтални ред мреже описан једним редом у датотеци. На почетку описа сваког реда дата је његова висина у односу на дно фасаде.

Након описа нивоа буке на фасадама следи приказ поља буке. Тачке поља буке су приказане груписане по еквидистантним слојевима, тако да је сваки слој описан матрицом чији редови приказају помераје по x, а колоне, помераје по y оси. На почетку описа сваког слоја дата је његова висина у односу на терен.

```

output_primer - Notepad
File Edit Format View Help
Kontrolna tacka 1: L = 43.1 dB
Kontrolna tacka 2: L = 43.1 dB

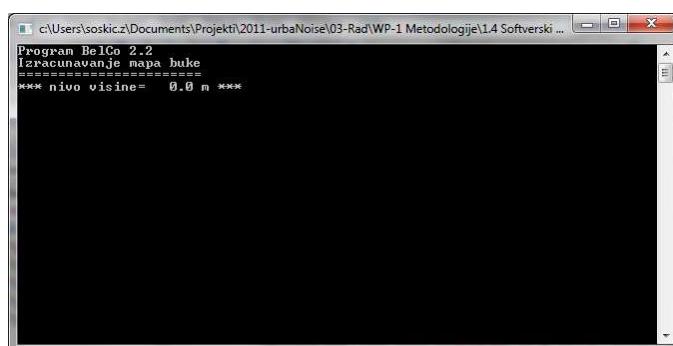
Fasada 1:
*** z= 0.0 m ***
55.4 56.1 56.6 56.7 56.6 56.1 55.4
*** z= 5.0 m ***
55.4 56.1 56.6 56.8 56.6 56.1 55.4
*** z= 10.0 m ***
55.4 56.1 56.6 56.7 56.6 56.1 55.4

Polje:
*** z= 0.0 m ***
56.7 58.7 61.2 64.6 70.0 59.3 70.0 64.6 61.2 58.7 56.7
56.6 58.4 60.7 63.7 67.4 52.2 67.4 63.7 60.7 58.4 56.6
56.1 57.7 59.6 61.7 45.9 46.8 45.9 61.7 59.6 57.7 56.1
55.4 56.7 58.2 59.6 42.9 43.4 42.9 59.6 58.2 56.7 55.4
54.5 55.6 56.7 40.0 40.8 41.1 40.8 40.0 56.7 55.6 54.5
53.6 54.5 38.3 39.0 39.5 39.7 39.5 39.0 38.3 54.5 53.6
52.7 53.5 38.3 38.8 39.1 39.2 39.1 38.8 38.3 53.5 52.7
51.9 37.9 38.3 38.6 38.8 38.9 38.8 38.6 38.3 37.9 51.9
51.0 37.8 38.1 38.3 38.5 38.5 38.5 38.3 38.1 37.8 51.0
37.3 37.6 37.8 38.0 38.1 38.1 38.1 38.0 37.8 37.6 37.3
37.1 37.3 37.5 37.6 37.7 37.7 37.6 37.5 37.3 37.1
*** z= 5.0 m ***
56.8 58.8 61.3 64.9 70.9 80.0 70.9 64.9 61.3 58.8 56.8
56.6 58.5 60.8 63.9 67.9 53.2 67.9 63.9 60.8 58.5 56.6
56.1 57.8 59.7 61.8 46.1 47.1 46.1 61.8 59.7 57.8 56.1
55.4 56.8 58.2 59.7 43.1 43.6 43.1 59.7 58.2 56.8 55.4
54.6 55.7 56.8 40.1 40.9 41.2 40.9 40.1 56.8 55.7 54.6
53.7 54.6 39.1 39.8 40.3 40.5 40.3 39.8 39.1 54.6 53.7
52.8 53.5 40.7 41.1 41.4 41.5 41.4 41.1 40.7 53.5 52.8
51.9 40.6 40.9 41.2 41.4 41.4 41.4 41.2 40.9 40.6 51.9
51.0 40.4 40.7 40.9 41.0 41.0 41.0 40.9 40.7 40.4 51.0
39.9 40.1 40.3 40.4 40.5 40.6 40.5 40.4 40.3 40.1 39.9
39.5 39.7 39.8 40.0 40.0 40.1 40.0 40.0 39.8 39.7 39.5
*** z= 10.0 m ***
56.7 58.7 61.2 64.6 70.0 77.0 70.0 64.6 61.2 58.7 56.7
56.6 58.4 60.7 63.7 67.4 70.0 67.4 63.7 60.7 58.4 56.6
56.1 57.7 59.6 61.7 63.7 64.6 63.7 61.7 59.6 57.7 56.1
55.4 56.7 58.2 59.6 60.7 61.2 60.7 59.6 58.2 56.7 55.4
54.5 55.6 56.7 57.7 58.4 58.7 58.4 57.7 56.7 55.6 54.5
53.6 54.5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 54.5 53.6
52.7 53.5 48.4 48.8 49.1 49.2 49.1 48.8 48.4 53.5 52.7
51.9 46.5 46.8 47.1 47.3 47.4 47.3 47.1 46.8 46.5 51.9
51.0 45.3 45.6 45.8 45.9 45.9 45.9 45.8 45.6 45.3 51.0
44.0 44.2 44.5 44.6 44.7 44.8 44.7 44.6 44.5 44.2 44.0
43.1 43.3 43.5 43.6 43.7 43.7 43.7 43.6 43.5 43.3 43.1

```

Slika 5. Izlazna datoteka

Ради праћења напретка програма приликом рада, на екрану се исписује висина нивоа на коме се изарачунава поље буке (Слика 6).

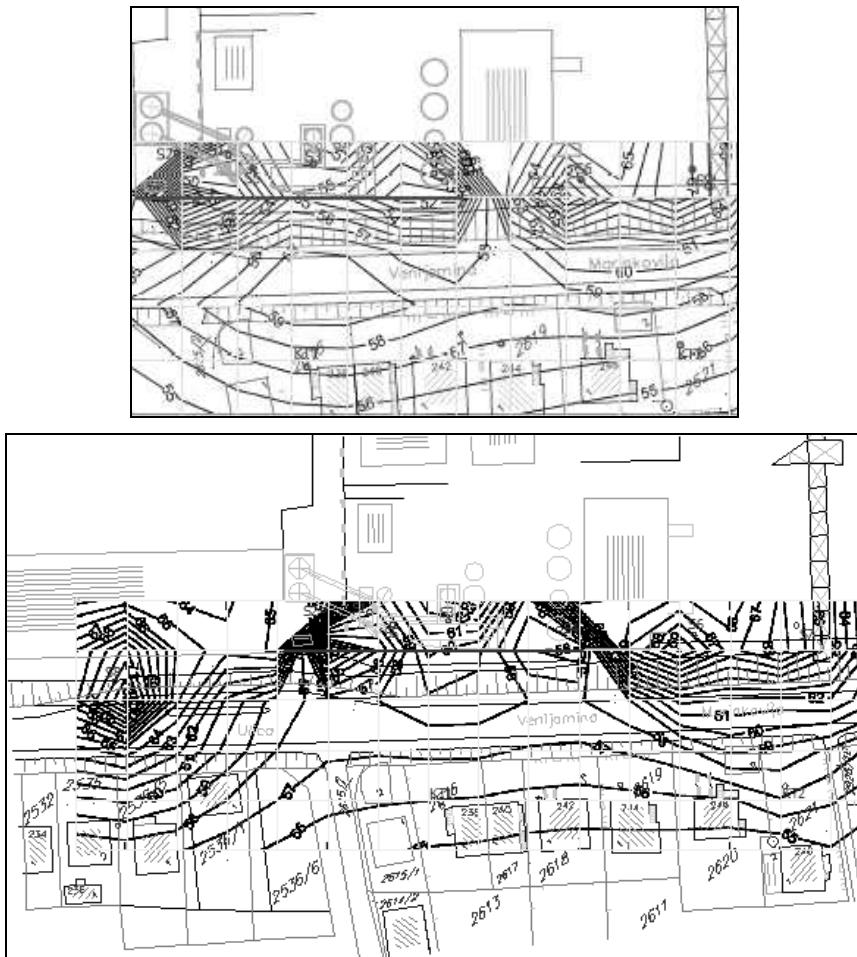


Slika 6. Прозор програма за прорачун локалних мапа буке током рада

Уколико улазна датотеке не одговара описаном формату, програм јавља грешке. Најчешћи узроци грешака су употреба децималног зареза уместо децималне тачке и непотпуни број параметера у улазној линији.

НАЧИН РЕАЛИЗАЦИЈЕ И МЕСТО ПРИМЕНЕ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Техничко решење је реализовано у оквиру пројекта Министарства за просвету, науку и технологију Републике Србије „Развој средстава и методологија за заштиту од буке урбаних средина“ са идентификационом ознаком ТР37020.



Слика 7. Поређење прорачунатих (горе) и мерених (доле) вредности нивоа буке у ШПИК „Ивањица“

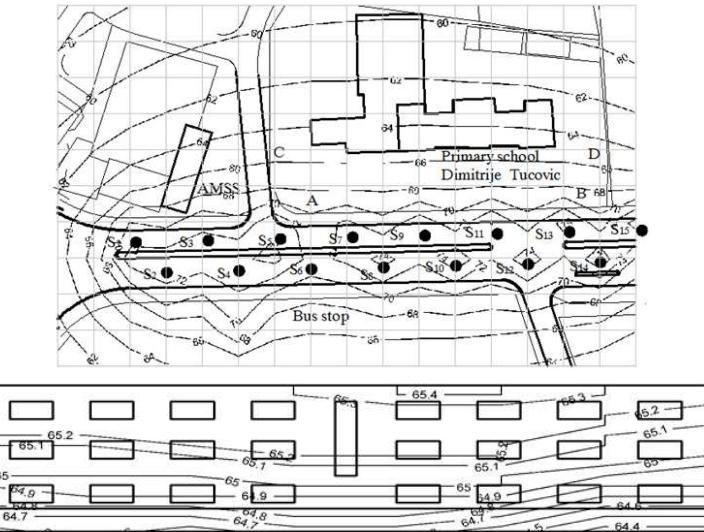
Верификација решења је извршена у оквиру изградње система за заштиту од буке у ШПИК „Ивањица“. Том приликом је извршена идентификација извора буке, као и мерења буке пре изградње система заштите. На основу тог стања је применом софтвера за прорачун локалних мапа буке извршен прорачун звучног поља са неколико варијанти заштитних баријера, и на основу добијених резултата је извршен избор решења за заштиту од буке. Након изградње заштитних баријера је извршено мерење звучног поља и резултати су упоређени са онима добијеним прорачуном помоћу софтвера за локално мапирање буке. Поређење резултата мерења и прорачуна су приказани на слици 7. Резултати показују да се измерене и прорачунате вредности никаде у пољу нису разликовале за више од 1 dBA.

За оцену резултата верификације потребно је одредити и мерну несигурност мерења. Поступак оцене мерне несигурности мерења нивоа звука (σ_t) у индустрији одређен је стандардом ISO 1996-2 [13], и одређује се према изразу

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_w^2 + \sigma_c^2 + \sigma_r^2} \quad (8)$$

где σ_i представља грешку мernог инструмента, σ_w мерну несигурност услед променљивих радних режима, σ_c мерну несигурност услед променљивих климатских фактора, а σ_r представља мерну несигурност услед променљивог резидуалног звука. При мерењима која су вршена у ШПИК „Ивањица“ кориштен је мерни инструмент Brüel&Kjaer 2238 Mediator чија је мерна

грешка 1 dBA. Стандардна несигурност због радних услова је израчуната на основу стандардне девијације нивоа буке у току појединачних мерења на најугроженијем месецу, и износи 0,7 dBA. Уколико се мерење врши под повољним временским условима, и ако се изврши постављање мерне опреме на довољној висини (а то значи да збир висина извора и пријемника буке није десет пута мањи од растојања међу њима), онда мерна несигурност услед променљивости климатских услова може да се сведе испод 2 dBA [14].



Слика 8. Поље буке у околини (горе) и на фасади (доле) школе „Димитрије Туцовић“ у Краљеву

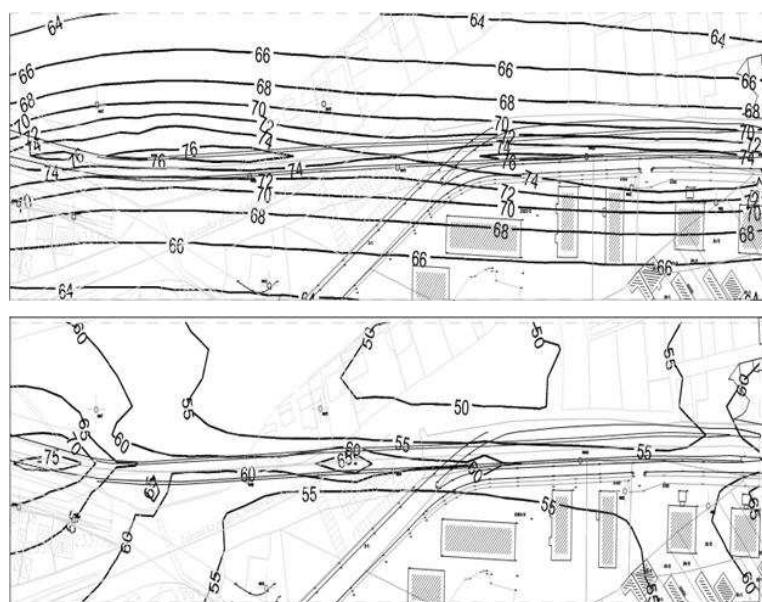
Узимајући у обзир све релевантне параметре, мерна несигурност се процењује на 2,3 dBA, па се резултати прорачуна, који се од мерених вредности не разликују више од 1 dBA, могу сматрати верификованим. Високо слагање експерименталних резултата са резултатом прорачуна треба сматрати последицом испуњености услова модела простирања буке (извори буке се налазе на великој висини и зраче звук изотропно, а примењена баријера је праволинијска, висине 6 метара и ширине 60 метара, што значи да се дифракциони ефекти могу занемарити већ за фреквенце више од 50 Hz).

МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Софтвер за прорачун локалних мапа буке је намењен пројектовању система за заштиту од буке индустриских извора помоћу звучних баријера, а може се користити и за пројектовање система за заштиту од саобраћајне буке.

Софтвер за прорачун локалних мапа буке је до сада применењен:

- при пројектовању система за заштиту од буке у основној школи „Димитрије Туцовић“ у Краљеву. Ситуација је у овом случају била сложена са тачке гледишта моделирања поља буке јер су у околини штићеног објекта присутни извори комуналне буке (радионица за поправку аутомобила) и саобраћајне буке (улица са четири траке и аутобуским стајалиштима). На слици 8 су приказана мапа поља буке у близини школе, као и мапа буке фасаде школе.
- при пројектовању система заштите од буке коју ствара саобраћај на надвожњаку у улици Ђуре Ђаковића у Краљеву. Специфичност овог проблема се састоји у томе да се надвожњак налази на великој висини, па сам надвожњак представља хоризонталну баријеру простирању звука што додатно отежава прорачун поља буке. Слика 9 приказује садашње стање поља буке и поље буке које је прорачунато да ће настати после изградње баријере висине 3 м дуж ограде надвожњака.



Слика 9. Прорачун садашњег (горе) и пројектованог (доле) поља буке у околини надвожњака у улици Ђуре Ђаковића у Краљеву

ЛИТЕРАТУРА

- [1] "Directive 2002/49/EC of the European Parliament and the Council of June 2002", Official Journal of the European Communities, 2002.
- [2] ISO 9613-1:1993, Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere
- [3] ISO 9613-2:1996, Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation
- [4] <http://www.softnoise.com/predictor.htm>
- [5] <http://www.datakustik.com>
- [6] <http://www.woelfel.de/produkte/immissionsschutz.html>
- [7] <http://www.soundplan.eu>
- [8] <http://www.otlterrain.com>
- [9] <http://poweracoustics.com/Software.html>
- [10] Praščević Momir, Cvetković Dragan, Mihajlov Darko: „Modeliranje i mapiranje industrijske buke - primer fabrike cementa“, Facta universitatis - Series: Working and Living Environmental Protection 2008, vol. 5, br. 1, str. 11-23
- [11] Dejan Todorović: „Iskustvo u primeni softvera za modelovanje buke“, Zbornik 17. Telekomunikacionog foruma TELFOR 2009 Srbija, Beograd, novembar 24-26, 2009, str. 1061-1064
- [12] Momir Praščević, Dragan Cvetković: „Buka u životnoj sredini“, Fakultet zaštite na radu u Nišu, Niš, 2005.
- [13] ISO 1996-2:2007, Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of environmental noise levels
- [14] Momir Praščević, Dragan Cvetković, Darko Mihajlov, "The Uncertainty Sources in Environmental Noise Measurements and the Uncertainty Estimation", Facta Universitatis Series: Mechanical Engineering Vol. 9, No 2, 2011, pp. 183 - 192

ПРИЛОЗИ

1. Одлука о именовању рецензената
2. Мишљење рецензената
3. Одлука о прихваташњу техничког решења

Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву
Универзитета у Крагујевцу
Број: 1376/10
Краљево, 28. 12 2012. године

На основу Правилника о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача ("Службени гласник Републике Србије" број 38/2008) и члана 78. Статута Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Наставно научно веће на седници одржаној 28. 12 2012. године донело је

ОДЛУКУ

- За рецензенте техничког решења "СОФТВЕР ЗА ПРОРАЧУН ЛОКАЛНИХ МАПА БУКЕ" аутора проф др Златана Шошкића, проф др Зорана Петровића, мр Бранка Радичевића и мр Небојше Богојевића именују се:
 - др Мирољуб Живковић редовни професор Факултета инжењерских наука у Крагујевцу;
 - др Момир Прашчевић ванредни професор Факултета за заштиту на раду у Нишу.



Гаша
др Миломир Гаша, ред.проф.

ДОСТАВИТИ:

- проф др Мирољубу Живковићу;
- проф др Момиру Прашчевићу ;
- архиви.

Одлуком Наставно-научног већа Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву бр. 1346/10 од 28.12.2012. год. именовани смо за рецензенте предлога техничког решења:

„Софтвер за прорачун локалних мапа буке“

аутора проф. др Златана Шошкића, проф. др Зорана Петровића, мр Бранка Радичевића и мр Небојше Богојевића.

На основу предлога овог техничког решења подносимо следећи:

Факултет за машинство и грађевинарство
Универзитета у Крагујевцу,

бр. 67

Датум: 20.01.2015. год.

Краљево, Доситејева 19.

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење „Софтвер за прорачун локалних мапа буке“ аутора проф. др Златана Шошкића, проф. др Зорана Петровића, мр Бранка Радичевића и мр Небојше Богојевића, реализованог 2011-2012, приказано је на 13 страница формата А4, писаних фонтом Cambria 11, стандардним пропедом, и садржи 8 слика. Састављено је од следећих поглавља:

Опис техничког решења

Област на коју се техничко решење односи

Проблем који се решава

Стање решености проблема у свету и у Србији

Концепција техничког решења

Детаљан опис техничког решења

Карактеристике програма

Поље буке

Извори буке

Баријере

Контролне тачке

Фасаде

Употреба

Начин реализације и место примене техничког решења

Могућност примене техничког решења

Литература

Наручилац техничког решења је Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву Универзитета у Крагујевцу. Техничко решење је реализовано у оквиру рада на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије ТР37020 – „Развој методологија и средстава за заштиту од буке урбаних средина“.

Примена предложеног техничког решења је реализована у оквиру развоја система за заштиту од буке урбаних средина на Факултету за машинство и грађевинарство у Краљеву.

МИШЉЕЊЕ

Аутори техничког решења „Софтвер за прорачун локалних мапа буке“ су приказали стање решености проблема у свету и у Републици Србији и детаљно описали развијени софтвер. Техничко решење поседује стручну компоненту, представља заокружени резултат, и има научно-истраживачки допринос. Резултати техничког решења излагани су на научним скуповима.

Софтвер омогућава прорачун звучног поља које стварају изотропни извори буке у простору у коме постоје широке вертикалне баријере које спречавају простирање звука. Прорачун поља је извршен у складу са међународним стандардом ISO 9613 и верификован је поређењем са мерењима нивоа звука индустријских и саобраћајних извора буке. Софтвер се успешно примењује за пројектовање система за заштиту од буке урбаних средина.

На основу описа техничког решења могу се донети следећи закључци:

- 1. Приказани софтвер представља јединствено решење на територији Републике Србије за прорачун локалних звучних поља.*
- 2. Аутори техничког решења су описали концепцију прорачуна звучног поља извора буке као и начин употребе софтвера за прорачун звучног поља извора буке у простору који је штићен системима звучних баријера.*
- 3. Пројектовано техничко решење има сличне могућности као и инострани комерцијални софтвер који се може примењивати за прорачун локалних поља буке тренутно доступан у свету.*

4. Примена софтвера за прорачун локалних мапа буке за пројектовање система заштите од буке индустријских извора у Ивањици, саобраћајне буке у Краљеву, као и комуналне буке у Краљеву показују велике могућности софтвера и поузданост његове примене у решавању реалних проблема.

„Софтвер за прорачун локалних мапа буке“ заузима значајно место у области уређења, заштите и коришћења вода, земљишта и ваздуха. Са задовољством предлажемо да се „Софтвер за прорачун локалних мапа буке“ прихвати као техничко решење – нови софтвер - М85 према класификацији из Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Сл. гласник РС“, бр. 32/2008)..

14.1.2013, у Крагујевцу


Др Мирослав Живковић, ред. проф.
Факултета инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу

14.1.2013, у Нишу

Др Момир Прашчевић, ванр. проф.
Факултета за заштиту на раду
Универзитета у Нишу

4. Примена софтвера за прорачун локалних мапа буке за пројектовање система заштите од буке индустријских извора у Ивањици, саобраћајне буке у Краљеву, као и комуналне буке у Краљеву показују велике могућности софтвера и поузданост његове примене у решавању реалних проблема.

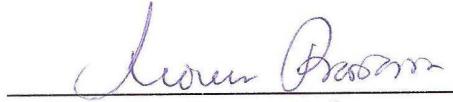
„Софтвер за прорачун локалних мапа буке“ заузима значајно место у области уређења, заштите и коришћења вода, земљишта и ваздуха. Са задовољством предлажемо да се „Софтвер за прорачун локалних мапа буке“ прихвати као техничко решење – нови софтвер - M85 према класификацији из Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Сл. гласник РС“, бр. 32/2008)..

14.1.2013, у Крагујевцу

Др Мирослав Живковић, ред. проф.
Факултета инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу

14.1.2013, у Нишу

Др Момир Прашчевић, ванр. проф.
Факултета заштите на раду
Универзитета у Нишу



Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву
Универзитета у Крагујевцу
Број: 108/4
Краљево, 30. 01 2013. године

На основу Правилника о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача ("Службени гласник Републике Србије" број 38/2008) и члана 78. Статута Факултета за машинство и грађевинарство у Краљеву Наставно научно веће након разматрања техничког решења "СОФТВЕР ЗА ПРОРАЧУН ЛОКАЛНИХ МАПА БУКЕ" на седници одржаној 30. 01 2013. године донело је

ОДЛУКУ

1. Усвајају се позитивне рецензије др Мирослава Живковића редовног професора Факултета инжењерских наука из Крагујевца и др Миомира Прашчевића ванредног професора Факултета за заштиту на раду из Ниша техничког решења "СОФТВЕР ЗА ПРОРАЧУН ЛОКАЛНИХ МАПА БУКЕ" аутора проф др Златана Шошкића, проф др Зорана Петровића, мр Бранка Радичевића и мр Небојше Богојевића.
2. Техничко решење представља научно истраживачки допринос у оквиру пројекта „Развој средстава и методологија за заштиту од буке урбаних средина“ идентификацијоном ознаком пројекта ТР – 37020 и припада класи M85 према класификацији из Правилника о поступку и начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача ("Службени гласник Републике Србије" број 38/2008).



ДЕКАН

М. Гашић

др Миломир Гашић, ред.проф.

ДОСТАВИТИ:

- ауторима техничког решења;
- архиви.