

Ervin Lumnitzer, Monika Biľová<sup>1</sup>

## METODIKA NÁVRHU PROTIHLUKOVÝCH OPATRENÍ V BLÍZKOSTI ŽELEZNIČNÝCH TRATÍ NA ZABEZPEČENIE AKUSTICKEJ KVALITY INTERIÉROV

THE METHODOLOGY OF ANTINOISE PROTECTIVE AGENTS DESIGN IN THE VICINITY OF  
RAILWAYS TO PROVIDE THE ACOUSTIC QUALITY OF INTERIORS

### Abstract:

The railway transport as a transport system is in our conditions environmentally and also economically the most acceptable system of passenger and cargo transport. Nowadays when the national economy of Slovakia is under restructuring the railway transport should be appropriately preferred. Increasing performance of railway transport causes increase of adverse effects on citizens especially of noise. With this is directly associated the assurance of not exceeded admissible value of the noise operative values in residential buildings and also in real estates belonging to them. The antinoise protective agents should be design in the stage of projection of new tracks what makes the problem more complicated.

### Modernizácia železničných tratí

V súčasnosti prebieha na železničných tratiach hlavného koridoru Košice - Žilina - Bratislava modernizácia železničnej trate, spojená s prechodom na kvalitatívne nový, vyšší štandard, ktorý okrem iného zahŕňa použitie nových typov vlakových súprav s výkyvnými skriňami, ktoré budú schopné premávať po zmodernizovanej trati rýchlosťou až 160 km.h<sup>-1</sup>. V súvislosti s tým sa medzi dôležité oblasti radí aj oblasť vplyvov tejto modernizácie na životné prostredie. Medzi najväčšie vplyvy železničnej dopravy na životné prostredie je možné zaradiť hluk a vibrácie a ich vplyv na obyvateľov, žijúcich v blízkosti železničnej trati.

Modernizáciou sa zvýši najvyššiu traťovú rýchlosť, vybudujú nové umelé stavby (mosty, tunely, mostné estakády,..), nové trakčné vedenie, nové zabezpečovacie a oznamovacie zariadenie a s tým súvisiace prevádzkové zariadenia na zabezpečenie bezpečnej prevádzky železničnej trate a dopravy na nej.

### Metodika návrhu protihlukových opatrení

Na dôsledný návrh protihlukových opatrení, hlavne polohy, rozmerov a akustických vlastností protihlukových stien a opatrení na samotných budovách je vhodné použiť metódu prediktívneho matematického modelovania šírenia hluku v záujmovom území. Táto vyžaduje nasledovnú metodiku:

1. **Vymedzenie oblasti záujmu** – ide o používateľom definovaný polygón, ktorý ohraničuje skúmanú oblasť. Oblasť záujmu je vymedzená minimálne pásom o šírke 100 m od trasy železničnej trate.
2. **Vytvorenie digitálneho modelu terénu** – definícia terénu a objektov (budov) sa vytvára na základe podkladov z leteckého snímkovania.
3. **Definícia železničných komunikácií** - stanovujú sa rozmery, tvar, charakter jazdy, kvalita železničného zvršku a pod.

4. **Návrh protihlukových stien** – v tejto etape sa určujú 3D rozmery všetkých objektov, akustické vlastnosti stien a výška stien.
5. **Modelovanie navrhovanej trasy železničnej trate** – pomocou softvéru pre predikciu imisií hluku v exteriéri sa vymodelujú vymodelované prvky navrhovanej trasy – mosty, nadjazdy, zárezy, násypy, estakády a pod.
6. **Zadanie výhľadového počtu a druhov vlakov**, ich rýchlostí, dĺžok, charakteru jazdy a pod.
7. **Kalibrácia matematického modelu** – na základe vykonaných kalibračných meraní sa model skalibruje tak, aby výsledky modelovania zabezpečili potrebnú presnosť.
8. **Matematické modelovanie** – výpočet imisií hluku v záujmovom území. Cieľom je vypracovať hlukovú mapu okolia predmetného úseku železničnej trate metódou matematického modelovania, využitím metodiky pre modelovanie dopravného hluku v zmysle platnej legislatívy Slovenskej republiky a príslušných normatívov.
9. **Optimalizácia protihlukových stien** – navrhnuté protihlukové steny budú optimalizované tak, aby v záujmovom území neboli prekročené prípustné hodnoty určujúcich veličín hluku v zmysle platnej legislatívy.
10. **Návrh iných technických opatrení** – opatrení na stavebných objektoch.

### Kalibračné merania hluku

Súčasnú imisiu hluku v záujmovom území predmetného úseku železničnej trate sa zisťujú priamym meraním metódou in situ. Pri takomto meraní sú zachytené všetky zdroje hluku v okolí meracieho stanovišťa. Pri meraní boli v maximálnej miere filtrované náhodné hluky a hluk dopravy z pozemných komunikácií.

Výsledky kalibračných meraní sa použijú ako:

- kalibračné vstupy do matematického modelu (hlukovej mapy) záujmového územia,
- na orientačné zistenie veľkosti hlukových imisií v záujmovom území.

Súbežne s meraniami hluku vo vonkajšom prostredí záujmového územia je nutné pre jednotlivé posudzované úseky trate vykonať aj merania a sčítania ďalších parametrov, ovplyvňujúcich výslednú hladinu hluku, a to:

- sčítanie intenzity železničnej dopravy na posudzovanom úseku a priľahlých tratiach v oboch smeroch,
- sledovanie skladby vlakov v členení R, OS, Nex, Pn, Mn a Rv,
- počtu vagónov v jednotlivých vlakoch (vrátane lokomotív),
- rýchlosti vybraných vlakov,
- členenie podľa traktív (elektrická, motorová),
- teploty,
- relatívnej vlhkosti vzduchu,
- atmosférického tlaku,
- rýchlosti prúdenia vzduchu.

Merania je potrebné vykonať v pracovných dňoch za štandardnej prevádzky železničnej trate.

## **Metodika výpočtu ekvivalentných hladín hluku**

Pre predikciu ekvivalentných hladín hluku po modernizácii používame nemeckú výpočtovú metódu Schall 03 - výpočet imisií hluku zo železníc, ktorá je oficiálnou metodikou pre Slovenskú republiku pre výpočet strategických hlukových máp. Emisie hluku zo železničných tratí sú popísané emisnou hladinou  $L_{m,E}$ . Je to ekvivalentná hladina A zvuku zo vzdialenosti 25 m od osi skúmanej koľaje a vo výške 4 m nad úrovňou terénu. Je východiskovou veličinou pre výpočet hodnotiacej hladiny.

Pri aplikácii Schall 03 sa emisné hladiny  $L_{m,E}$  určia z počtu prejazdov vlakov v časových intervaloch deň, večer, noc podľa Nariadenia vlády č.339/2006 Z.z.

Pre zohľadnenie špecifických vlastností boli hodnoty  $L_x$  korigované s ohľadom na:

- útlm hluku nízkou zástavbou,
- útlm hluku prekážkou alebo konfiguráciou terénu,
- vplyv priľahlej súvislej zástavby,
- vplyv zelene.

Po zistení vplyvu všetkých čiastkových zdrojov hluku (koľaje boli rozdelené do úsekov s rovnakými vstupnými parametrami výpočtu) na hlukové pomery posudzovaného bodu boli hodnoty  $L_j$  zo všetkých čiastkových úsekov energeticky sčítané.

## **Matematický model - hluková mapa záujmového územia**

Vytvára sa pre denný, večerný a nočný čas pre celý posudzovaný úsek železničnej trate. Vytvára sa pre nasledovné varianty:

- imisie hluku v okolí železničnej trate - denný čas,
- imisie hluku v okolí železničnej trate - večerný čas,
- imisie hluku v okolí železničnej trate - nočný čas,

Základným opatrením, ktoré sa bude aplikovať pri modernizácii železničnej trate kvôli zníženiu emitovaného hluku a prenosu vibrácií pri prevádzke na týchto tratiach hlavne v zastavanom území je uloženie koľajníc na gumených podložkách a ich uchytenie pomocou špeciálnych pružín. Toto opatrenie, ktoré je vyskúšané a v praxi overené na viacerých tratiach v zahraničí, ale i na niektorých úsekoch v Slovenskej republike, podstatným spôsobom znižuje hlučnosť a prenos vibrácií pri prejazde vlakových súprav.

K zníženiu hlučnosti prostredia a k zlepšeniu podmienok prenosu vibrácií prispeje tiež skrátenie doby prejazdu vysokorýchlostných vlakových súprav a zdokonaľovanie konštrukcie vagónov a lokomotív. Vzhľadom na uvažovaný prechod na striedavú trakciu a je nutné zabezpečenie nových lokomotív, ktoré okrem iného druhu pohonu majú aj zdokonalené podvozky v porovnaní s doteraz používanými typmi lokomotív. Tieto lokomotívy musia spĺňať aj limity zdrojov hluku pre pracovné prostredie a ich hlučnosť nesmie prekročiť 80 dB.

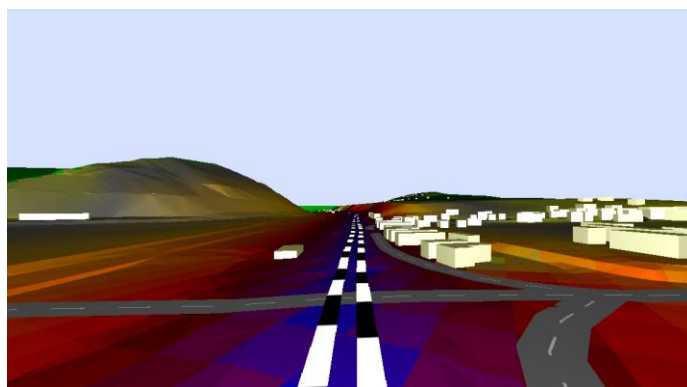
Pri hodnotení účinnosti modernizácie železničnej trate možno uviesť i výsledky meraní na už zmodernizovanej trati, kde bol upravený železničný zvršok a aplikované pružné uchytenie koľají. Tab. 1 dokumentuje pokles hladiny hluku na tejto zmodernizovanej železničnej trati.

Tab. 1 Pokles hladín hluku v dB  $L_{p,Aeq,min}$  na zmodernizovanej trati

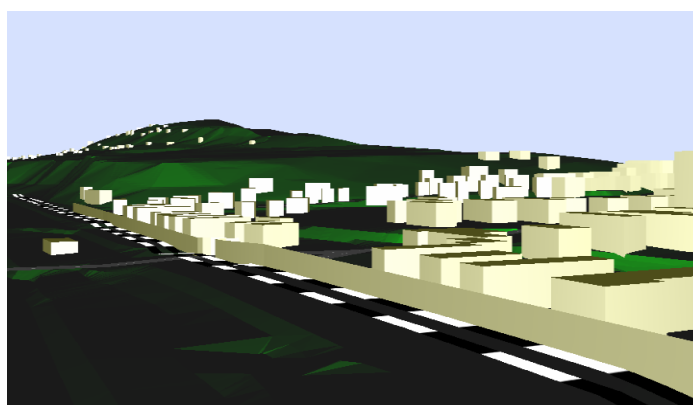
Druh vlaku/vzdialenosť	Existujúci stav trate	Modernizovaná trať	Rozdiel v dB	Rozdiel v %
nákladný vlak $L_{pAeq,min}$ VO vzdialenosti 60 m od trate	75,2	66,7	8,5	11,3
nákladný vlak $L_{pAeq,min}$ VO vzdialenosti 120 m od trate	71,3	58,9	12,4	17,4
rýchlik $L_{pAeq,min}$ VO vzdialenosti 60 m od trate	67,3	63,9	3,4	5,8
rýchlik $L_{pAeq,min}$ VO vzdialenosti 60 m od trate	62,3	51,6	9,7	15,6

Protihlukové steny (PSH) musia byť navrhované tak aby hluk prichádzajúci z koncov PHS bol v posudzovanom imisnom bode zanedbateľný voči hluku, šíriacemu sa ponad PHS. Všetky PHS sa navrhujú tak, aby sa v príslušných chránených územiach dosiahlo neprekročenie prípustných hodnôt určujúcich veličín hluku.

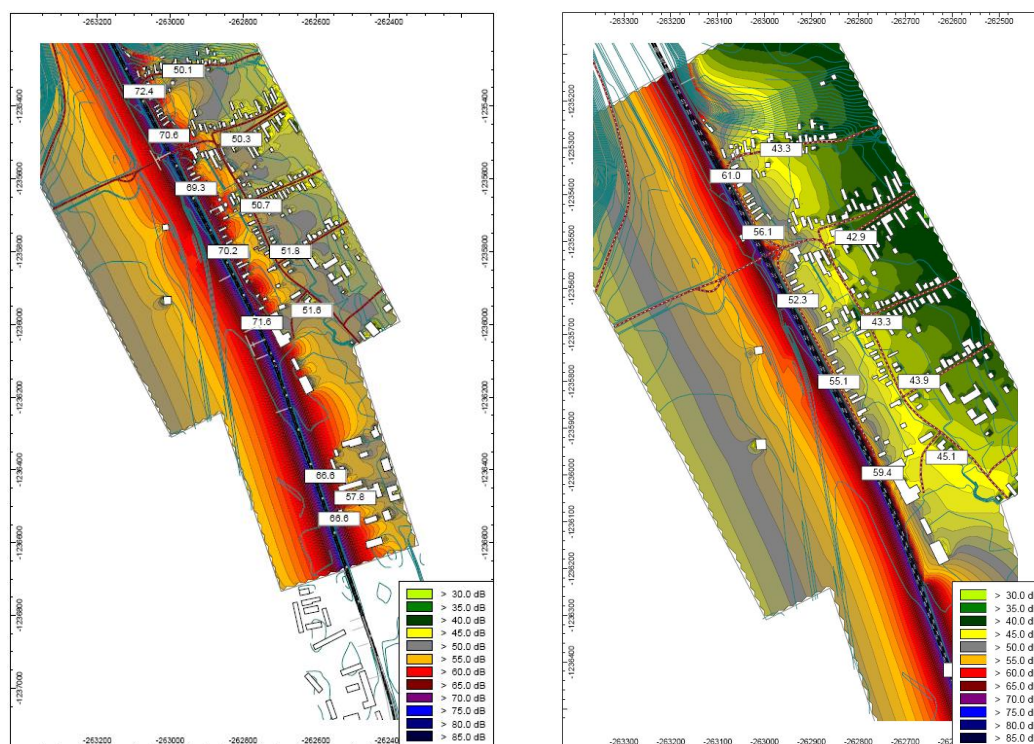
Na obr. 1 je uvedený 3 D model časti trate použitý pre výpočet imisí hluku v jej okolí. Na obr. 2 zasa pohľad na tú istú oblasť s aplikáciou protihlukovej bariéry a na obr. 3 hlukové mapy územia bez a s aplikáciou protihlukovej steny, kde jasne vidieť účinnosť protihlukovej steny.



Obr. 1. Ukážka 3D modelu pre výpočet ekvivalentných hladín hluku



Obr. 2. Ukážka modelu s aplikáciou protihlukovej steny



Obr. 3. Ukážka hlukovej mapy pred a po aplikácii protihlukovej steny

Na základe aplikácie metodiky predikčného matematického modelovania je možné vykonať dva typy protihlukových opatrení:

- opatrenia na zamedzenie šírenia hluku zo samotnej trate,
- opatrenia zamedzujúce prestupu hluku do interiéru obytných stavieb.

Návrh protihlukových bariér sa vykonáva so zohľadnením nasledovných skutočností:

- vzdialenosť protihlukovej bariéry od trate je maximálne 3,5 – 4 m, pri vyšších vzdialenostiach je nutné očakávať výrazný pokles účinnosti steny,
- výška bariéry sa navrhuje matematickým modelovaním šírenia hluku v exteriéri,
- akustické parametre protihlukových stien sa stanovujú na základe STN EN 1793-1 a STN EN 1793-3. Pri každej protihlukovej stene sa predpisuje zvuková pohltivosť  $D_{La}$  a kategória zvukovej pohltivosti, do ktorej musí navrhovaná bariéra patriť, ako aj vzduchová nepriezvučnosť  $D_{LR}$  a kategória vzduchovej nepriezvučnosti.

**Zvuková pohltivosť  $D_{La}$**  je jednočíselná veličina, ktorá sa používa pre hodnotenie akustických vlastností protihlukových systémov. Udáva sa v dB.

Keď sa pozdĺž pozemnej komunikácie vyskytuje odrazový povrch, potom je efektívne použiť zariadenia so zvukopohltivým povrchom na strane dopravy na zníženie dodatočného nárastu rušivého hluku spôsobeného odrazeným zvukom. Takáto úprava môže byť potrebná v prípadoch ak sa vyskytujú:

- protihlukové clony, skalné zárezy, zárubné alebo oporné múry, ktoré môžu odrážať zvukové vlny do nechránených oblastí,
- zvislé steny zárezov alebo odrazové plochy obrátené proti sebe,
- tunely a ich portály,

- vedenie cestnej premávky v takej blízkosti clony, že odrazy hluku medzi vozidlami a clonou môžu znižovať jej účinnosť.

Kategorizácia zvukovej pohltivosti je uvedená v tab. 2.

Tab. 2 Kategórie zvukovej pohltivosti

Kategória	$D_{L\alpha}$ (dB)
A0	neurčené
A1	< 4
A2	od 4 do 7
A3	od 8 do 11
A4	>11

**Vzduchová nepriezvučnosť  $D_{LR}$**  je jednočíselná veličina, ktorá sa používa pre hodnotenie akustických vlastností protihlukových systémov. Udáva sa v dB.

Protihlukové clony pozdĺž pozemných komunikácií musia mať primeranú nepriezvučnosť, aby zvuk priamo prechádzajúci zariadením bol zanedbateľný v porovnaní so zvukom, ktorý sa šíri okolo ich horného okraja. Kategorizácia vzduchovej nepriezvučnosti je uvedená v tab. 3.

Tab. 3 Kategórie vzduchovej nepriezvučnosti

Kategória	$D_{LR}$ (dB)
B0	neurčené
B1	< 15
B2	od 15 do 24
B3	>24

Jednočíselná veličina  $D_{LR}$  najlepšie charakterizuje vzduchovú nepriezvučnosť v situáciách, keď zvuk dopadajúci na clonu sa šíri priamo od dopravného prúdu bez ďalších odrazov od okolitých povrchov, prípadne ohybov na hranách clôn alebo prekážok. V zložitejších situáciách, v ktorých sa vyskytujú niekoľkonásobné odrazy, alebo v ktorých dochádza k ohybu zvukových vln, sa pôvodné spektrum dopravného hluku zmení tak, že pri povrchu clony sa môžu zdôrazniť jeho nízkofrekvenčné zložky. V týchto prípadoch je dôležité zohľadniť vlastnosti materiálov v kmitočtovej závislosti.

V prípade, že sa takýmito opatreniami nedosiahne neprekročenie prípustných hodnôt určujúcich veličín hluku v zmysle platnej legislatívy, je potrebné navrhnuť opatrenia na objektoch. Medzi ne možno zaradiť:

- asanáciu objektov – vykonáva sa len v prípade, že objekt je situovaný v bezprostrednej blízkosti trate, prípadne ak okrem prekročenia deskriptorov hluku bránia riadnemu a bezproblémovému využívaniu objektu iné dôvody, napr. zlé svetelné pomery, prekročenie prípustných hodnôt vibrácií, blízkosť technologických objektov, zhoršenie estetických vlastností objektu a pod.
- ošetrovanie prieniku hluku do interiéru otvormi v stavbách – okná, dvere, prípadne vetracie otvory (v prípade technologických prevádzok) a pod.
- zvýšenie akustickej kvality stien – používa sa v prípade, že sa preukáže nízka odolnosť konštrukcie proti prestupu hluku do interiéru cez samotnú

konštrukciu stien. Tu je možné využiť zateplovacie systémy, ktoré sa zároveň vyznačujú akustickou izoláciou. Tu je však potrebné zvoliť vhodný druh materiálu.

### Obvodové steny

Aby bola zaistená akustická pohoda v interiéri navrhovanej budovy, musia obvodové plášte budovy spĺňať požiadavky na vzduchovú nepriezvučnosť stanovené v STN 730532/2000.

Vzduchová nepriezvučnosť obvodového plášťa budov musí vyhovovať minimálnym požiadavkám, ktoré sú pre hodnotenie vonkajších obvodových konštrukcií stanovené váženou nepriezvučnosťou  $R'_{w}$ ,  $R'_{45^{\circ},w}$ ,  $R'_{tr,s,w}$  alebo  $R'_{rt,s,w}$ , a pre hodnotenie ochrany miestnosti pred vonkajším hlukom váženým rozdielom hladín  $D_{nT,w}$ ,  $D_{ls,2m,nT,w}$ ,  $D_{tr,2m,nT,w}$  v závislosti na vonkajšom hluku, vyjadrenom ekvivalentnou hladinou akustického tlaku  $A L_{Aeq,2m}$ .

Požiadavky normy na zvukovú izoláciu pri obvodových plášťoch budov (platí pre obytné miestnosti bytov, hosťovské izby v ubytovacích zariadeniach, pobytové miestnosti detských zariadení, prednáškové siene, výukové priestory, čítárne, lekárske ordinácie) sú uvedené v tab. č. 1.

Podľa výsledku predikčného matematického modelovania je možné určiť požadovanú nepriezvučnosť stien podľa tab. 4.

Tab. 4 Požadovaná vzduchová nepriezvučnosť

Požadovaná zvuková izolácia obvodového plášťa v $R'_{w}$ , dB *) alebo $D_{nT,w}$ , dB *)							
Ekvivalentná hladina akustického tlaku 2 m pred fasádou $L_{Aeq,2m,dB}$ **) – imisie hluku							
<b>Noc: 22.00-06.00</b>	≤ 40	41 - 45	46 - 50	51 - 55	56 - 60	61 - 65	66 - 70
<b>Deň: 06.00 – 22.00</b>	≤ 50	51 - 55	56 - 60	61 - 65	66 - 70	71 - 75	76 - 80
<b>Požadovaná nepriezvučnosť</b>	30	30	30	33	38	43	48
*) Jednočíselné veličiny vážené podľa STN EN ISO 717 - 1, odvodené z veličín v tretinooktávových pásmach definovaných v STN EN ISO 140-5.							
**) Ekvivalentná hladina akustického tlaku A určená 2 m pred fasádou s prihliadnutím k 6.6.3 STN EN ISO 140-5, zaokrúhlená na celé číslo.							

Pozn.: uvedené STN nešpecifikujú od roku 2006 platnú štruktúru deň – večer – noc. Z tohto dôvodu budeme v návrhoch pre večerný čas odporúčať hodnoty pre nočný čas.

### Výplne otvorov

Kvalita výplní otvorov (okná, dvere, presklenia) zo zvukoizolačného hľadiska určuje podobne ako u zvislých deliacich prvkov index nepriezvučnosti  $R_w$  [dB]. Na zvukoizolačné vlastnosti výplní otvorov vplyva okrem samotnej ich kvality (zasklenie, rám, kovanie, systém prirodzeného vetrania) aj kvalita montáže.

Nadmerný hluk z exteriéru možno izolovať najmä trojitým zasklením, špeciálnymi protihlukovými sklami, alebo špeciálnym rámom.

Hrubšie sklá majú lepšie zvukovoizolačné vlastnosti, vhodná je aj asymetrická skladba hrúbky dvojitého zasklenia najlepšie v pomere 2:1. V súčasnosti je možné zvukovoizolačné

vlastnosti okien zlepšiť napustením vzácneho plynu do výplní medzi vrstvami skiel (hexafluorid síry SF<sub>6</sub>, resp. SF<sub>6</sub> + argón), čím možno zvýšiť R<sub>wokna</sub> o 3-4 dB.

Dôležité sú detaily styku kridla a rámov, rámu a stavebnej konštrukcie, osadenie zasklenia. Každá medzera v konštrukcii okna je miestom šírenia zvuku. Rám má zvyčajne lepšie zvukoizolačné vlastnosti, ako zasklenie. Dôležitý je druh zvoleného materiálu, hrúbka rámu, resp. stien rámu a výplní rámu.

V tab. 5 sú uvedené akustické triedy súčasných okien. Údaje v tabuľke platia pri ploche okien prevyšujúcej 50% celkovej plochy obvodovej steny. Ak plocha okien tvorí 35-50%, potom R<sub>w</sub> je o 3 dB nižší, ak menej ako 35%, potom R<sub>w</sub> je o 5 dB nižší ako udáva tabuľka. Ak údaje v tabuľke dáme do súvisu s požiadavkami na max. zaťaženie miestností hlukom (tab. 6), dostaneme vhodnú triedu okna. Odporúčanie platí pri zachovaní požiadaviek na dostatočné vetranie miestností.

Tab. 5 Akustická trieda okien podľa STN

akustická trieda	0	1	2	3	4	5	6
R <sub>w</sub> okna [dB]	<24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-50	>50

Tab. 6 Požiadavky na triedy okien

Prostredie	Imisie hluku [dB]	Miestnosť určená na	Vhodná trieda okna
I	< 60	spánok	2
		bývanie	1
		práca	0
II	60 - 70	spánok	4
		bývanie	3
		práca	1
III	> 70	spánok	5
		bývanie	4
		práca	2

Hodnoty sa vzťahujú na najnepriaznivejšie miesta fasády.

## Záver

Modernizáciou železničných tratí jednoznačne dôjde k zlepšeniu akustickej situácie v okolí trate. Je to dané stavebnými a konštrukčnými prvkami, ktoré sú využívané pri modernizácii. Napriek tomu je nutný celý rad protihlukových opatrení, ktoré v minulosti neboli vykonávané z jediného dôvodu – nebola im venovaná dostatočná pozornosť.

Súčasný zmeny v legislatíve si aj v oblasti zabezpečovania akustickej kvality stavieb vyžadujú riešenie tejto otázky rôznymi metódami a rôznymi technickými prostriedkami.



Tento príspevok vznikol v súvislosti s riešením projektu VEGA 1/3232/06 a VEGA 1/3231/06.

### **POUŽITÁ LITERATÚRA**

- [1] LUMNITZER, E. - ROMÁNOVÁ, M.: Modelovanie dopravného hluku a hluku z stacionárnych zdrojov v oblasti mestskej zástavby. In: Acta Mechanica Slovaca. roč. 9, č. 2-b eiam 05 (2005), s. 225-228. ISSN 1335-239
- [2] BADIDA, Miroslav - LUMNITZER, Ervin - ROMÁNOVÁ, Monika: Metodika určovania neistôt merania hluku pri hygienických meraniach. In: Acta Mechanica Slovaca. roč. 10, č. 3 (2006), s. 5-14. ISSN 1335-2393
- [3] BADIDA, Miroslav - LUMNITZER, Ervin - ROMÁNOVÁ, Monika: Hluk v pracovnom prostredí a jeho hodnotenie v zmysle novej legislatívy. In: Trendy lesníckej, drevárskej a environmentálnej techniky a jej aplikácie vo výrobnom procese : Medzinárodná vedecká konferencia k 10. výročiu vzniku FEVT : Zvolen, 5.-7. september 2006. Zvolen : Technická univerzita, 2006. s. 19-22. ISBN 80-228-1649-3
- [4] RUSKO, M., 2004. *Environmentálne hodnotenie technológií*. - Magazín pre priemyselnú ekológiu XXI. storočie 4/2004, Bratislava, s.13-14, ISSN 1335-874X
- [5] RUSKO, M. – BALOG, K. – TUREKOVÁ, I., 2006. *Vybrané kapitoly z environmentálneho a bezpečnostného manažérstva*. - Bratislava: VeV et Strix, Edícia EV-4 , Prvé slovenské vydanie, ISBN 80-969257-5-X, 160 s.