Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti (JOSRA). JOSRA 1-2 - 2012, roč. 5.

Meranie a predikcia hluku v priemyselných halách

30.07.2012

MEASUREMENT AND PREDICTION OF NOISE IN INDUSTRIAL HALLS

Miroslav Dado[1, 2], Richard Hnilica[1], Marián Schwarz[3], Martin Frič[4]

[1] Katedra výrobných technológií a materiálov, Fakulta environmentálnej a výrobnej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen, Slovenská republika, dado@vsld.tuzvo.sk

[2] Katedra životného prostredia, Fakulta prírodných vied, Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica, Slovenská republika

[3] Katedra aplikovanej ekológie, Fakulta ekológie a environmentalistiky, Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen, Slovenská republika

[4] Regionálny úrad verejného zdravotníctva v Banskej Bystrici, Cesta k nemocnici 1, 975 56 Banská Bystrica, Slovenská republika

průmyslové haly | hluk | měření | predikce

Abstrakt

Článok popisuje výsledky štúdie, ktorá bola navrhnutá so zámerom verifikovať vhodnosť použitia hlukových máp ako informatívneho nástroja v zmysle požiadaviek na zaistenie ochrany zdravia a bezpečnosti zamestnancov v súvislosti s expozíciou hluku na pracovisku. Na základe porovnania hodnôt dennej expozície hluku získaných predikciou a meraním v šiestich priemyselných halách bola pre predikčný model, implementovaný v softvérovom nástroji IZOFONIK, zistená priemerná presnosť 1.55 dB.

Klíčová slova: expozícia hluku, pracovné prostredie, predikcia, hluková mapa

Abstract

This paper describes results from a study designed to verify suitability of noise maps for use as information tool in terms of legislative requirements for occupational health and safety provision regarding the exposure of workers to the risks arising from the noise. In order to evaluate the accuracy of simulation model, comparisons were made between daily noise exposure based on prediction and measurements at six industrial halls. Comparisons of the predicted and measured results showed that prediction model which is implemented in software tool IZOFONIK was typically accurate

on average to within 1.55 dB.

Keywords: noise exposure, working environment, prediction, noise map

Úvod

Zo štatistických údajov uvedených v *(NCZI, 2011)* vyplýva, že hluk je dlhodobo najčastejšie sa vyskytujúcim rizikovým faktorom pracovného prostredia. V roku 2010 bolo v Slovenskej republike nadmernému hluku exponovaných 78 970 zamestnancov, čo predstavovalo 76,6 % zo všetkých zamestnancov vykonávajúcich rizikové práce a z evidencie hlásených prípadov chorôb z povolania vyplýva, že porucha sluchu spôsobená hlukom je štvrtou najčastejšou chorobou z povolania. Okrem špecifických účinkov hluku sú nemenej dôležité aj jeho systémové účinky , ktoré majú vplyv na bezpečnosť pri práci. Nadmerný hluk resp. maskovací účinok hluku môže prekryť výstražné akustické signály, sťažiť komunikáciu a zrozumiteľnosť reči. Neočakávané zvuky môžu spôsobiť úľak a nepredvídateľné reakcie, čo v konečnom dôsledku takisto môže viesť k zvýšenému výskytu pracovných úrazov *(Janoušek, 2005)*.Vyššie spomenuté skutočnosti sú dostatočným dôvodom, aby bola problematike ochrany zdravia a bezpečnosti zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou hluku venovaná náležitá pozornosť.

Predikcia hluku na pracoviskách je pomocný nástroj pri rozhodovaní, ktoré sa týka opatrení na monitorovanie a redukciu hluku. Umožňuje výpočet hladiny akustického tlaku v ľubovoľnom bode a stanovenie deskriptorov šírenia zvuku. Výsledné hodnoty predikcie hluku je možné zobrazovať vo forme hlukových máp, ktoré zobrazujú imisné hladiny hluku alebo expozičné hladiny hluku. Hlukové mapy ako výsledok predikcie hluku našli v praxi svoje uplatnenie predovšetkým pri posudzovaní expozície hluku vo vonkajšom (životnom) prostredí, t. j. hluku z dopravy na pozemných komunikáciách, železničnej dopravy, leteckej dopravy a priemyselnej činnosti. Akustická štúdia, ako odborný podklad pre orgány verejného zdravotníctva, upozorňuje na možné riziká prekročenia prípustných hodnôt určujúcich veličín hluku, ktoré súvisia s posudzovanou činnosťou (hluková štúdia v procese EIA). Súčasťou posúdenia vplyvu plánovanej činnosti na celkové pomery priľahlej obytnej zóny resp. inej chránenej časti územia je aj spracovanie analytických 2D resp. 3D hlukových máp pre jednotlivé variantné riešenia a referenčné časové intervaly. Úlohou tzv. strategických hlukových máp je zmapovať aktuálne hlukové zaťaženie daného územia v okolí hlavných zdrojov hluku a následne v súlade so zásadami prevencie v akčných plánoch stanoviť priority pri nápravných opatreniach a informovať o nich verejnosť *(Mihalčík, 2010)*. Možnosťami použitia hlukových máp pri posudzovaní a kontrole hluku v pracovnom prostredí sa zaoberali viacerí domáci i zahraniční autori *(napr. Janeček, 1990; Novotný, 1990; Christensen, 1998; Rindel, 2000; Hodgson, 2003;Hnilica, 2007; Probst, 2009; Liptai a kol., 2011)*.

Cieľom príspevku je na základe komparácie výsledkov posúdenia rizika súvisiaceho s expozíciou hluku v priemyselných halách získaných meraním a predikciou verifikovať vhodnosť použitia hlukových máp ako informatívneho nástroja v zmysle požiadaviek na zaistenie ochrany zdravia a bezpečnosti zamestnancov v súvislosti s expozíciou hluku na pracovisku.

Materiál a metódy

Meranie a predikcia hluku boli realizované v šiestich výrobných prevádzkach (viď tab. 1) v súlade s technickými normami STN EN ISO 9612:2010 a STN EN ISO 11690-3:2000. V spomenutých normách sú uvedené metodické postupy na stanovenie expozície hluku zamestnancov v ich pracovnom prostredí z meraní hladín akustického tlaku a predikciu hluku na pracoviskách.

Na základe konzultácií so zamestnancami boli pre jednotlivé posudzované profesie vypracované časové snímky práce, z ktorých boli následne odvodené časové intervaly merania. Časové intervaly merania boli zvolené tak, aby sa na pracovnom mieste zaznamenali všetky významné zmeny v hladinách hluku. Dĺžka pracovnej zmeny zamestnancov bola 8 hodín.

Názov objektu	**Rozmery d x š x v [m]**	**Materiálové vlastnosti**			**Počet zdrojov hluku [ks]**	**Počet vnútorných telies [ks]**
		steny	**podlaha**	**strop**		
Údržbárska dielňa	20 x 18 x 7	betónové panely	liaty betón	betónové panely	11	17
Hala hutníckej druhovýroby	56 x 15 x 10	omietnuté betónové panely	liaty betón	železobetón s omietkou	11	18
Zvarovňa	88 x 36 x 15	omietnuté betónové panely	hladký betón	železobetón	31	
Lisovňa	180 x 36 x 10	tehlové murivo omietnuté	leštený betón	železobetón s vápennou omietkou	9	6
Kovoobrobňa	48 x 13 x 9	omietnuté betónové panely	betón	železobetón s omietkou	25	20
Hala drevárskej druhovýroby	60 x 18 x 4.5	kombinácia tehla a sendvičový panel (hliníkový plech / minerálna vlna / plech)	pancierový betón	polyuretánová pena	8	7

Tab. 1: Charakteristika geometrických a materiálových vlastností priemyselných hál

Výber vhodnej stratégie merania na určenie expozície hluku na pracovisku závisí od účelu meraní, komplikovanosti pracovnej situácie, počtu exponovaných zamestnancov, času k dispozicií na meranie atď. Po zohľadnení vyššie uvedených faktorov bola pre meranie zvolená stratégia merania pracovnej úlohy: vykonávaná práca počas dňa bola analyzovaná a rozdelená na niekoľko charakteristických pracovných úloh a pre každú z nich sa získali samostatné merania hladiny akustického tlaku.

Ekvivalentná hladina A zvuku bola meraná prostredníctvom integračného zvukomeru triedy 1 (Brüel&Kjaer, typ 2239A

s predpolarizovaným kondenzátorovým mikrofónom typ 4188). Integračný zvukomer bol umiestnený vo výške 155 centimetrov na statíve, s mikrofónom nasmerovaným na zdroj hluku. Kalibrácia meracieho prístroja bola verifikovaná priamo na mieste merania, pred každou sériou a po každej sérií meraní, pomocou akustického kalibrátora (Brüel&Kjaer, typ 4231).

Interval merania hladín hluku zvukomerom bol v súlade s normou STN EN ISO 9612:2010 stanovený na 5 minút pri dlhších pracovných úlohách, pri úlohách trvajúcich kratšie ako 5 minút bol interval merania zhodný s trvaním pracovnej úlohy. Pri každej pracovnej úlohe boli urobené minimálne tri merania. Ak sa vzájomné rozdiely výsledkov troch meraní pracovnej úlohy líšili o tri alebo viac decibelov, boli urobené dodatočné merania resp. merania boli zopakované s dlhším časovým intervalom.

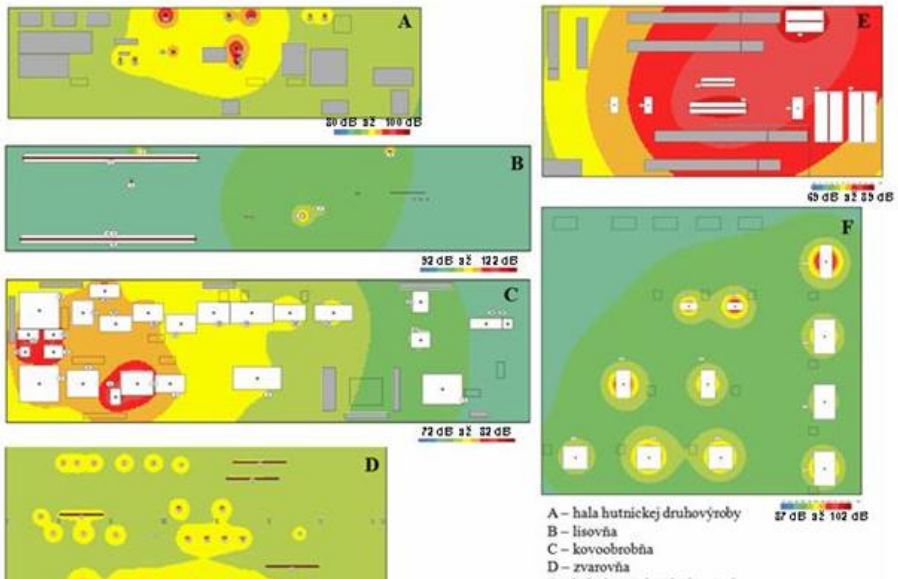
Výsledky meraní boli doplnené o neistoty merania, ktoré bola stanovené podľa postupu na určovanie rozšírenej neistoty normalizovanej hladiny A expozície hluku pre 8-hodinový menovitý pracovný deň, uvedenom v prílohe C normy STN EN ISO 9612:2010. Neistoty boli vypočítané pomocou tabuľkového výpočtového programu poskytnutého s touto medzinárodnou normou. Vypočítané hodnoty normalizovaných hladín expozície hluku predstavovali referenčné hodnoty, na základe ktorých bolo možné posúdiť presnosť simulačného modelu.

Jednotlivé hlukové mapy boli vytvorené v počítačovom programe IZOFONIK ver. 4.05 (f. Ekosoft). Simulačný program umožňuje vypočítať predpokladané hladiny hluku v interiéroch priemyselných prevádzok prostredníctvom matematického modelu vytvoreného na základe technickej normy STN 01 1613. Hybridný model je založený na kombinácií geometrickej štatistiky (zohľadnenie vplyvu stien priestoru) a štatistickej akustiky (zohľadnenie vplyvu zaplnenie priestoru a nehomogenít na stenách priestoru). Počítačový program IZOFONIK umožňuje po zadaní parciálnych časov expozície aj výpočet celkovej expozície osôb na pracovných miestach.

Štatistická analýza výsledkov bola spracovaná prostredníctvom Shapiro-Wilkovho testu normality, neparametrickým Kruskall-Wallisovým testom a Kendallovým koeficientom korelácie v programe v štatistických programoch (f. StatSoft®, Statistica v.7) a (f. MedCalc Software, MadCalc v.11.6).

Výsledky

Hlukové mapy jednotlivých výrobných hál sú znázornené na Obr. 1. Na základe vzájomného porovnania normalizovaných hladín expozície hluku stanovených meraním a predikciou je možné konštatovať, že z pohľadu hodnotenia akčných a limitných hodnôt (dolná resp. horná akčná hodnota expozície hluku je hodnota určujúcej veličiny hluku, pri ktorej prekročení sa vykonávajú opatrenia na zníženie hluku: $L_{AEX,\ 8h,\ a}$ = 80 dB resp. 85 dB a limitná hodnota expozície hluku je hodnota určujúcej veličiny hluku, ktorá nemôže byť u zamestnanca prekročená $L_{AEX,\ 8h,\ L}$ = 87 dB) sú výsledky zhodné pre všetky posudzované profesie v hale hutníckej druhovýroby, údržbárskej dielni, lisovni a zvarovni.



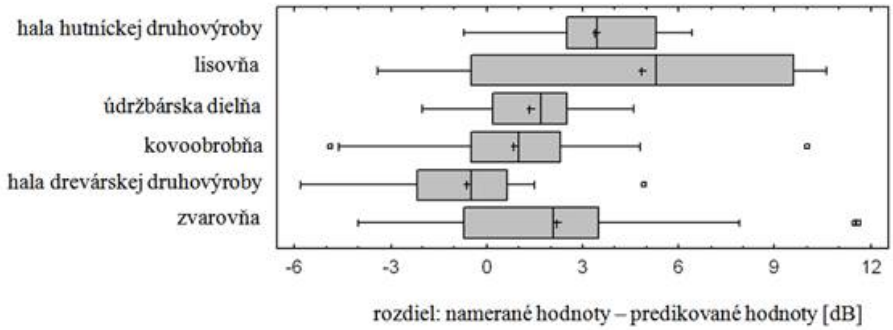
Obr. 1: Hlukové mapy výrobných hál

V hale drevárskej druhovýroby sú výsledky zhodné len pre dolnú akčnú hodnotu. Z hľadiska prekročenia hornej akčnej hodnoty bola medzi výsledkami dosiahnutá 62.5 %-ná zhoda. Z hľadiska prekročenia limitnej hodnoty bola medzi výsledkami dosiahnutá 75 %-ná zhoda. V kovoobrobni boli výsledky porovnania zhody nasledovné: pre dolnú akčnú hodnotu bola zistená 76 %-ná zhoda a pre hornú akčnú a limitnú hodnotu 96 %-ná zhoda.

Štatistické porovnanie hodnôt normalizovaných hladín expozície hluku získaných meraním a predikciou je uvedené v Tab. 2 a na Obr. 2.

	údržbárska dielňa	**hala hutníckej druhovýroby**	**lisovňa**	**zvarovňa**	**kovoobrobňa**	**hala drevárskej druhovýroby**
počet porovnávaných hodnôt	11	6	9	31	25	8
priemer	1,35	3,40	4,84	2,20	0,84	-0,62
výberová štandardná odchýlka	1,86	2,49	5,29	3,94	3,06	3,14
min.	-2,0	-0,7	-3,4	-4,0	-4,9	-5,8
max.	4,6	6,4	10,6	11,6	10,0	4,9
medián	1,7	3,5	5,3	2,1	1,0	-0,5
p-hodnota S-W testu normality	0,946	0,829	0,190	0,026	0,118	0,843

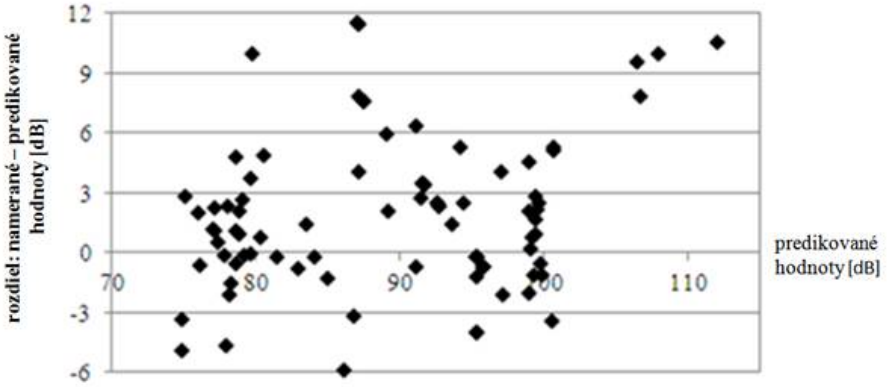
Tab. 2: Štatistické charakteristiky a výsledky testu normality porovnávaných údajov



Obr. 2: Krabicové grafy výsledkov komparácie nameraných a predikovaných hodnôt v jednotlivých výrobných halách

Z výsledkov Shapiro-Wilkovho testu normality (p=0.004) vyplýva, že hodnoty rozdielov nie je možné považovať za normálne rozdelené. Štatistická významnosť rozdielov získaných výsledných hodnôt normalizovaných hladín expozície hluku bola stanovená na základe porovnania rozdielu hodnôt vypočítaných meraním a predikciou a ich priemerov.

Štatisticky nevýznamne malá hodnota Kednallovho koeficientu korelácie ? = 0,062 (p=0,393) svedčí o nezávislosti rozdielov od predikovaných hodnôt. To nám umožňuje tvrdiť, že rozdiel medzi výsledkami meraní a predikcie je konštanta, ktorá predstavuje hodnotu pseudomediánu (1.55 dB).



Obr. 3 Rozdielový graf výsledkov nameraných a predikovaných hodnôt

Diskusia a záver

Korektná predikcia hluku v priestoroch priemyselných hál vychádza z poznatku, že zvukové pole nie je možné vo všeobecnosti považovať za difúzne vzhľadom na nasledovné skutočnosti:

- tvary priemyselných hál charakterizované pomerom dĺžky-šírky-výšky majú zvyčajne pomer ľubovoľných dvoch rozmerov väčší ako tri,
- priestor haly zvyčajne nie je prázdny, ale je zaplnený inventárom, ktorý spôsobuje rozptyl a absorpciu zvuku,
- pohltivosť povrchov haly (podlaha, obvodové steny, strop) je väčšinou rozložená obzvlášť nerovnomerne.

Predikčné metódy prešli v minulom storočí rozsiahlym vývojom – od štatistických, geometrických cez tvorbu fyzických modelov vytvorených v určitej mierke až po sofistikované počítačové simulácie, ktorých základ tvoria hybridné výpočtové algoritmy. V súčasnosti je možné pri predikcii hluku na pracovisku využiť niektorý z komerčne dostupných softvérových nástrojov (napr. NoiseAtWork, CadnaR, RayPlus, Odeon, Izofonik, NoisePlant, SoundPlan, Ramsete), ktoré sa od seba líšia predovšetkým použitým výpočtovým algoritmom.

Na základe porovnania hodnôt dennej expozície hluku získaných predikciou a meraním v šiestich priemyselných halách bola pre predikčný model, implementovaný v softvérovom nástroji IZOFONIK, zistená priemerná presnosť 1.55 dB. Zistené rozdiely pri porovnaní výsledkov merania a simulácie spočívajú predovšetkým v určitých obmedzeniach programu IZOFONIK ako aj zjednodušeniach pri tvorbe samotných simulačných modelov. Výpočtový algoritmus programu neuvažuje s útlmom hluku, ktorý vznikne vzájomnou polohou posudzovaného bodu a zdroja hluku, takže do výpočtu sa nezohľadňuje útlm od bariér, telies a zdrojov hluku. Vytvorené simulačné modely nezohľadňujú všetky akustické parametre reálnych priemyselných hál, napr. pri tvorbe modelu neboli zohľadnené všetky interiérové prvky (napr. stĺpy, svetlíky).Výsledky predkladanej štúdie korenšpondujú s výsledkami iných autorov. Rindel a Christiansen (2007) porovnali hodnoty ekvivalentných hladín hluku v strojovni elektrárne získaných prostredníctvom simulačného programu Odeon s nameranými hodnotami a zistili dobrú zhodu (priemerný rozdiel medzi hodnotami 0.3 dB s maximálnou odchýlkou 2.2 dB). K podobným výsledkom dospel aj Probst (2009), ktorý vytvoril simulačný model výrobnej haly v programe CadnaR.

Na základe dosiahnutých výsledkov je možné konštatovať, že v kontexte posudzovania rizík z expozície hluku v pracovnom prostredí, sú interiérové hlukové mapy vhodným informačným nástrojom pri vizualizácii dodržiavania najvyšších prípustných hodnôt v zmysle platnej legislatívy. Predmetom ďalšieho výskumu bude predovšetkým zistiť, do

akej miery bude aproximatívnosť vstupných parametrov simulačného modelu ovplyvňovať variabilitu výsledkov simulácie.

Použitá literatúra

- HNILICA, R. 2007. Hluková analýza pracovného prostredia. In *Humánne riziká v priemysle spracovania dreva – zborník príspevkov z kolokvia ku grantovej úlohe VEGA 1/3445/06.* Zvolen : TU vo Zvolene, 2007. S. 16 – 22. ISBN 978-80-228-1929-2.
- HODGSON, M. 2003. Ray-tracing evaluation of empirical models for predicting noise in industrial workshops. *Applied Acoustic*, 2003, Vol. 64, No. 11, pp. 1033-1048.
- CHRISTENSEN, C. L.; FOGED, H. T. 1998. A room acoustical computer model for industrial environments : the model and its verification. In *Proceedings of the third European Conference on Noise Control EURO-NOISE 98*, *Munich, October 1998*. Pp.671-676.
- JANEČEK, P. 1990. Výpočet předpokládaných hladin hluku podle ČSN 01 1613. *Bezpečná práca*, 1990, roč. 21, č. 4, s. 150-155. ISSN 0322-8347.
- JANOUŠEK, M. 2005. *Zásady BOZP pri práci v hluku*. Košice : NIP, 2005. 23 s. ISBN 80-968834-7-X.
- LIPTAI, M.; LUMNITZER, E.; MORAVEC, M. 2011. Interiérové hlukové mapy a možnosti ich využitia v praxi. *Fyzikálne faktory prostredia*, 2011, roč. 1, mimoriadne číslo, s. 34 – 37. ISSN 1338-3922.
- MIHALČÍK, L. 2010. Hluková záťaž obyvateľstva SR z dopravy a strategické hlukové mapy. *Enviromagazín,* 2010, č. 10, s. 22-23.
- Národné centrum zdravotníckych informácií. 2011. *Choroby z povolania alebo ohrozenia chorobou z povolania v SR 2010*. Bratislava : NCZI, 2011. 68 s.
- NOVOTNÝ, J. ...[et al.]. 1990. *Hluk : výpočet predpokladaných hladín hluku v priemyselných priestoroch*. Praha : Vydavatelství norem, 1990. 116 s. ISBN 80-85111-14-4.
- PROBST, W. 2009. The Calculation of Sound Propagation in Rooms to determine Noise Exposure at Workplaces. In *Proceedings of the International Conference on Acoustics NAG/DAGA 2009*, *Rotterdam, March 2009*.
- RINDEL, J. H. 2000. The Use of Computer Modeling in Room Acoustic. *Journal of Vibroengineering*, 2000, Vol. 4, No. 3, pp. 219 – 224.
- RINDEL, J. H.; CHRISTENSEN, C. L. 2007. Odeon : a design tool for noise control in indoor environments. In *Proceedings of the International Conference Noise at work 2007*, *Lille, July 2007*.
- STN EN ISO 11 690-3:2000. *Akustika. Odporúčané postupy na navrhovanie nízkohlučných pracovísk vybavených strojovými zariadeniami. Časť 3: Šírenie zvuku a predpovedanie hluku na pracovisku*. Bratislava : SÚTN, 2000. 40 s.
- STN EN ISO 9612:2010. *Akustika. Stanovenie expozície hluku v pracovnom prostredí. Technická metóda*. Bratislava : SÚTN, 2010. 48 s.

Autori vyjadrujú poďakovanie Kultúrnej a edukačnej grantovej agentúre MŠVVaŠ SR za podporu vedeckého grantového projektu KEGA 016TUZVO-4/2011"Pracovné prostredie – príprava virtuálneho laboratória a učebných textov", v rámci ktorého uvedený príspevok vznikol.

Vzorová citace

DADO, Miroslav…[et al.]. Meranie a predikcia hluku v priemyselných halách. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online], 2012, roč. 5, č. 1-2. Dostupný z WWW: <http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-01-02-2012/mereni-hluku-v-halach.html>. ISSN 1803-3687.

Autor článku:
Ing. Miroslav Dado, Ph.D.
Ing. Richard Hnilica, Ph.D.

Doc.Martin Frič, Ph.D.

Ing. Marián Schwarz, CSc.