

AKUSTICKÉ LISTY

České akustické společnosti
www.czakustika.cz

ročník 13, číslo 1

březen 2007

Obsah

Usnesení Valné hromady České akustické společnosti	3
Zemřel Oldřich Zadrazil	5
Prof. Felix Kolmer pětadesátiletý	6
Měření hluku z provozu větrných elektráren ve vztahu k ochraně veřejného zdraví před hlukem	7
Nové způsoby vibroizolace budov vůči hluku z metra v pražské aglomeraci New methods of building vibro-insulation from sound from metro in Prague agglomeration <i>Jan Stěnička</i>	9
Obsah Acta Acustica 93(1)	13

ČESKÁ AKUSTICKÁ SPOLEČNOST

Usnesení Valné hromady České akustické společnosti, konané dne 18. ledna 2007 v prostorech Fakulty elektrotechnické ČVUT

Valná hromada ČsAS bere na vědomí:

1. zprávu o činnosti Rady ČsAS;
2. zprávy o činnosti jednotlivých odborných skupin a o jejich dalším zaměření;
3. zprávu o přípravě 74. akustického semináře;
4. zprávu o výsledcích revize hospodaření společnosti;
5. výsledky voleb do Rady společnosti a výsledky voleb předsedů odborných skupin;
6. zprávu o usnášeníschopnosti Valné hromady, 59/101;
7. informace o plnění úkolů a poslání Akustických listů a vyzývá členy k zasílání příspěvků.

Pro funkční období roku 2007 byli v jednotlivých odborných skupinách zvoleni:

- A. Obecná, lineární a nelineární akustika
předseda – M. BEDNAŘÍK zástupce – M. ČERVENKA
- B. Ultrazvuk a akustické emise
předseda – J. PLOCEK zástupce – R. BÁLEK
- C. Hluk a vibrace
předseda – J. KOZÁK zástupce – V. STRNAD
- D. Prostorová, stavební a urbanistická akustika
předseda – M. MELLER zástupce – A. RYNDOVÁ
- E. Zpracování a záznam akustických signálů
předseda – T. SALAVA
- F. Psychoakustika, fyziologická akustika a akustika hudby a řeči
předseda – J. ŠTĚPÁNEK
- G. Elektroakustika
předseda – Z. KEŠNER zástupce – B. SÝKORA

Valná hromada ČsAS schvaluje:

1. zprávu o činnosti Rady za kalendářní rok 2006
2. zprávu o hospodaření společnosti za kalendářní rok 2006;
3. výši členských příspěvků na rok 2007 (400 Kč pro členy, 100 Kč pro studenty a důchodce);
4. činnost Rady a odborných skupin v roce 2006;
5. odměnu hospodáři ČsAS za rok 2006 ve výši 10 000 Kč.

Valná hromada ukládá nově zvolené Radě společnosti na kalendářní rok 2007:

1. pokračovat v odborné a organizační činnosti i v zahraničních kontaktech, v rozvíjení spolupráce s Českou matičí technickou, Slovenskou akustickou společností, společností Elektra, českou sekci AES, Českým centrem IEE, československou sekci IEEE, ICA, EAA a I-INCE;
2. věnovat pozornost pořádání odborných akcí a pravidelných seminářů odborných skupin;
3. nadále rozvíjet vydávání Akustických listů.

Valná hromada ukládá nově zvoleným předsedům odborných skupin na kalendářní rok 2007:

1. publikovat informace o připravovaných aktivitách skupin v Akustických listech a na webové stránce s předstihem tak, aby se zájemci mohli včas na akce přihlašovat.

Valná hromada doporučuje Radě ČsAS:

1. pravidelně se zabývat činností a plánem akcí odborných skupin;
2. pravidelně se zabývat plánem a zaměřením konaných akustických konferencí;
3. poskytovat možnost finančních výhod členům společnosti, např. nižšími sazbami vložného na akcích pořádaných společností.

Výsledky voleb do Rady České akustické společnosti:

Počet vydaných platných hlasovacích lístků:		59
Odevzdáno platných hlasovacích lístků:		59
předseda:	O. JIŘÍČEK	54
místopředsedové:	V. KUNZL	58
	J. ŠTĚPÁNEK	59
sekretář:	M. BROTHÁNEK	54
hospodář:	T. ŠPAČKOVÁ	59
revizní komise:	O. KUDĚJOVÁ	59
	T. HELLMUTH	59
	J. NOVÁK	59

Návrh usnesení sestavila návrhová komise ve složení M. Meller a P. Urban.

Vážení kolegové,

jak se můžete dočíst v usnesení Valné hromady otištěném v tomto čísle Akustických listů, došlo v letošním roce ke změně výše členských příspěvků. Pro výdělečně činné členy tedy činí 400 Kč a pro důchodce a studenty 100 Kč. Pokud jste ještě nezaplatili, je nejlepším způsobem platba převodem z účtu na účet, tedy z Vašeho účtu v kterékoli bance na účet ČsAS, Komerční banka, a. s., Praha 6, číslo účtu 17838061/0100. Platbu můžete provést ze svého soukromého účtu, který nese název Vašeho příjmení. V případě, že platíte z jiného účtu, použijte prosím variabilní symbol ve tvaru XXX07, kde XXX je Vaše osobní číslo, které naleznete nad svým jménem na obálce. Dalším možným způsobem je složení hotovosti na přepážce Komerční banky. Na kterékoli pobočce Komerční banky můžete zaplatit své členské příspěvky složením hotovosti na účet číslo 17838061/0100. Variabilní symbol je shodný jako v předešlém případě. Finančně oboustranně nejméně výhodným způsobem je platba na poště složenkou typu A (zelená). I zde je variabilní symbol shodný jako v předešlých případech.

V loňském roce byl na webových stránkách ČsAS (www.czakustika.cz) spuštěn autorizovaný přístup pro všechny (i bývalé) členy společnosti. Zde každý nalezne své osobní informace, které může editovat a případně upravit do správné podoby. Jedná se především o správnost adresy pro zasílání Akustických listů. Při vytváření těchto autorizovaných stránek byl brán zřetel na bezpečnost všech osobních dat tak, aby nemohlo dojít k jejich zneužití. I z tohoto důvodu není umožněno získat údaje o ostatních členech ČsAS.

Se spuštěním autorizovaného přístupu je spojena ještě jedna změna na webových stránkách společnosti. Konkrétně jsou ve veřejné části zpřístupněny Akustické listy až s ročním zpožděním – bude zde uveřejněna pouze titulní strana, tj. obsah, aktuálního vydání. Celé vydání zájemci naleznou v osobních stránkách, kde budou dále zveřejňovány dokumenty určené pouze členům ČsAS (sborníky Akustických seminářů apod.).

Česká akustická společnost se od loňského roku stala řádným členem Evropské akustické asociace (EAA), která poskytuje našim členům veškeré členské výhody. Mezi ně patří snížené vložné na akce pořádané v rámci EAA a také možnost odebírat časopis *Acta Acustica/Acustica* za režijní cenu. Tato cena je pro rok 2007 stanovena ve výši 26 € za ročník pro časopis na CD a 50 € v tištěné verzi. Máte-li zájem předplatit si tento časopis, sdělte tuto informaci co nejdříve sekretariátu společnosti, o způsobu platby budete informováni obratem.

Doufám, že díky těmto změnám zůstanete i nadále věrni akustice a především České akustické společnosti.

Marek Brothánek
sekretář společnosti

Zemřel Oldřich Zadražil

Ing. Oldřich Zadražil, CSc. se narodil 2. července 1930.

Dětství a dobu války prožil v Kutné Hoře, kde v září 1944 nastoupil do prvního ročníku průmyslové školy. Po květnu 1945 byl jeho otec – bývalý ruský legionář – povolán do Ministerstva národní obrany a Oldřich nastoupil v září toho roku do 2. ročníku Vyšší průmyslové školy strojní a elektrotechnické na Smíchově – škola se později přejmenovala na Vyšší průmyslovou školu elektrotechnickou a přestěhovala se do Prahy 1 Na Příkopě. Zde v roce 1948 Oldřich s vyznamenáním maturoval a v září 1948 se zapsal na dnešní ČVUT, Fakultu elektrotechnickou (tehdy ještě a asi do r. 1950 Vysoká škola strojního a elektrotechnického inženýrství).

Na první přednášce fyziky vyzval prof. Slavík zájemce z řad studentů prvního ročníku o spolupráci s tehdejší Ústavem technické fyziky. Oldřich Zadražil prof. Slavíkovi projevil o spolupráci zájem a od listopadu nastoupil na pozdější katedře fyziky jako „pomocná vědecká síla“, patronem mu byl tehdy asistent Bohdan Klimeš, se kterým sestavil první československou aparaturu pro měření činitele zvukové pohltivosti metodou stojatého vlnění, ve které pak provedl velice rozsáhlý soubor měření vlastností materiálů, užívaných v prostorové akustice.

Oldřich trpěl od konce války těžkou cukrovkou, asi tak od maturity si musel píchat inzulin. Vzhledem ke své nemoci nebyl nikdy na vojně, a proto působil na katedře nepřetržitě od roku 1948 a z největší části se věnoval akustice (také jako svému koníčku). Začátkem posledního studijního roku na podzim 1951 nastoupil na poloviční úvazek na katedře fyziky jako asistent, po skončení studia pak na plný úvazek. Kvůli jeho morálnímu postoji mu v předrevolučním období nebylo umožněno, aby habilitoval.

Oldřich je mj. spoluautorem příspěvku zabývajícího se touto problematikou otištěného v zahraničním časopise z roku 1951. Za doby prof. Slavíka se podílel na řešení řady úkolů, např. na vývoji antivibračních nátěrů, zúčastnil se měření a vyhodnocení akustičnosti Strahovského stadionu a zjišťování srozumitelnosti řeči v pražských kinech.

Po smrti prof. Slavíka pracoval Oldřich Zadražil dále v akustické skupině, i když tehdejší situace na katedře fyziky akustice příliš nepřála. Přesto postavil řadu laboratorních úloh z akustiky a staral se o přístrojové vybavení.

Významný je jeho přínos k řešení problematiky leteckého hluku na konci 60. let. Z té doby pochází řada výzkumných prací, na kterých se podílel nebo které řídil, ať už šlo o měření směrových charakteristik hluku letadel, stanovení vyzářeného akustického výkonu letadla při různých režimech a stanovení hlukové zátěže od leteckého provozu v okolí letišť. Dále např. vypracoval metodu na stanovení vzduchové neprůzvučnosti pláště budovy, kde jako budící akustický signál použil hluk pozemní dopravy. Jeho odborná činnost se zúročila v mnoha příspěvcích na tuzemských a mezinárodních konferencích. Je autorem více než 30 publikovaných článků nebo výzkumných zpráv.

Na počátku 90. let byl na elektrotechnické fakultě ČVUT vypsán volitelný předmět Úvod do akustiky a pro značný zájem posluchačů navazující předmět Akustické aplikace. Pro oba předměty zajistil Oldřich Zadražil i první učební texty. V doktorském studiu zavedl předmět Hlukové studie. Je rovněž autorem dvou videofilmů pro výuku akustiky, které byly v soutěži Techfilm 97 vyhodnoceny jako nejlepší v kategorii výukových a instrukčních filmů.

V roce 1957 byla ustavena „Odborná skupina pro hluk a akustiku prostředí“, kterou při tehdejší Československé vědeckotechnické společnosti založili prof. Slavík a Dr. Ing. Jiří Tichý, tehdy asistent u prof. Slavíka. Oldřich Zadražil se od počátku existence této skupiny její práce účastnil velice aktivně. Podílel se snad na všech pořádaných seminářích i mezinárodních akustických konferencích jak odborně (přednášky, publikace), tak i společensky. Jeho působení pamatuje jistě ještě dnes řada členů České akustické společnosti, do které se postupně odborná skupina Hluk a akustika prostředí po roce 1989 transformovala.

Oldřich byl milovníkem a znalcem vážné i populární hudby. Jeho vztah k hudbě však nebyl jen pasivní. Účastníci akustických konferencí a seminářů jej oceňovali především jako vynikajícího interpreta písní, z nichž některé pocházely i z jeho autorské dílny.

Přestože pro vysoký věk i zdravotní potíže již v posledních letech nepřednášel a minimálně se podílel na přípravě cvičení, byl zaměstnancem FEL ČVUT do června 2006.

I když se celý život potýkal se zdravotními potížemi, překonával je s elánem a vitalitou jemu vlastní.

Jeho srdce však dotlouklo dne 29. prosince 2006. Ti z nás, kteří jej dobře znali, na něj nedokážou zapomenout.



Prof. Felix Kolmer pětaosmdesátiletý



V květnu se dožívá 85 let prof. Ing. Felix Kolmer, DrSc., čestný, stále aktivní člen České akustické společnosti. Patří k těm, kteří se svou dlouholetou odbornou i organizační prací významně zasloužili o rozvoj oboru akustiky v Čechách. Před válkou žil prof. Kolmer v Praze a v Rakousku, v době okupace byl zatčen gestapem a 4 roky vězněn v koncentračních táborech Terezín, Osvětim a Friedland. Je jedním z 3100 vězňů z Československé republiky, kteří přežili vyhlazovací tábory. Jeho osudy za 2. světové války natočila Spielbergova nadace v Los Angeles a Univerzita v Oldenburgu.

V současné době se prof. Kolmer věnuje hlavně aktivitám souvisejícím s česko-německými vztahy a odškodněním obětí holokaustu. Je členem předsednictva Terezínské iniciativy, členem výboru Českých osvětimských vězňů a dalších institucí s podobným zaměřením. Ve službách Ministerstva zahraničí ČR se zúčastňuje v USA a v Německu jednání o česko-německých vztazích.

V roce 1949 nastoupil do tehdejšího Výzkumného ústavu zvukové, obrazové a reprodukční tech-

niky v Praze, kde pracoval až do důchodu. Začal zde jako pracovník elektroakustického oddělení a posléze byl dlouhá léta ředitelem. Vždy věnoval péči vytváření podmínek rozvoje akustiky, a to jak ve VÚZORTu, tak i mimo něj. V případě potřeby neváhal použít své autority, aby pomohl při řešení problémů. Přestože v roce 1990 odešel do důchodu, jeho zájem o akustiku neskončil a stále sleduje dění v oboru.

Je autorem nebo spoluautorem 200 publikací, z nichž 24 bylo uveřejněno v zahraničí. Bohatá byla rovněž jeho pedagogická činnost v oboru akustiky. Působil na Fakultě elektrotechnické ČVUT a na HAMU, dosud je členem Státní komise pro závěrečné zkoušky v oborech audiotechnika a zvuková tvorba. Hodně svého času věnoval prof. Kolmer činnosti ve společenských organizacích v oboru akustiky. V roce 1959 pomáhal zakládat prof. Slavíkovi Akustickou komisi ČSAV a řadu let byl jejím předsedou. Byl předsedou Technické normalizační komise pro akustiku od jejího založení v roce 1974 až do odchodu do důchodu a nadále je jejím čestným členem. Dlouhá léta pravidelně reprezentoval Československo na zasedáních technické komise 43 „Akustika“ Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO), kde rovněž zastupoval IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics), jehož byl rovněž členem. Byl jedním ze zakladatelů Federation of Acoustical Societies of Europe (FASE) a 12 let byl jejím generálním tajemníkem.

V International Commission of Acoustics (ICA) byl ředitelem Informačního a koordinačního centra. Je Fellow of Acoustical Society of America, čestným členem několika dalších zahraničních akustických společností a nositelem řady státních vyznamenání v bývalém Československu za rozvoj fyziky a akustiky i v České republice, Argentině, Belgii a Německu oceňujících jeho dlouholetou práci v oboru.

V loňském roce obdržel za dlouholetou aktivní činnost v národní i mezinárodní normalizaci v oblasti akustiky Čestné uznání Vladimíra Lista. Jeho fyzická i duševní svěžest, optimismus, neustálý zájem o odbornou i společenskou dění mohou být příkladem i motivací pro každého z nás.

Blahopřejeme a přejeme hodně zdraví a energie do dalších let!

Měření hluku z provozu větrných elektráren ve vztahu k ochraně veřejného zdraví před hlukem

Postupy popsané v ČSN ISO 1996 – 1, 2 a 3 se dají při měření hluku z větrných elektráren využít pouze částečně. ČSN ISO 1996 – 2 uvádí rychlost větru během měření 1 až $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, při které však nelze měření hluku z provozu větrných elektráren provádět, a dále podmínku, aby hluk větru na mikrofonu neinterferoval s měřením, kterou lze splnit pouze specifickým umístěním mikrofonu. Proto je potřeba v tomto případě postupovat také podle ČSN EN 61400-11: Větrné elektrárny: Část 11 – Metodika měření hluku, která se sice zabývá technickým měřením vlastního zdroje hluku, ale v otázkách rychlosti větru během měření je třeba respektovat zde uvedený požadavek na dodržení minimální rychlosti větru 6 až $7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a způsob měření hluku při těchto rychlostech větru, který umožňuje eliminovat vliv hluku vznikajícího průchodem větru kolem mikrofonu.

Akreditace, respektive autorizace, pro měření hluku z provozu větrných elektráren by tedy měla zahrnovat metody dle uvedených ČSN ISO 1996 – 1, 2 a 3 a výše uvedené ČSN EN 61400-11, neboť při těchto měřeních je třeba vhodným způsobem zohlednit specifická ustanovení jednotlivých zmíněných předpisů. V protokolu z měření hluku je pak třeba popsat tyto okolnosti a specifika použitých metod a postupů měření.

Danuše Vápeníková

Nové způsoby vibroizolace budov vůči hluku z metra v pražské aglomeraci

Jan Stěnička

Kozí 9, 110 00 Praha 1
e-mail: stenicka@volny.cz

A high density of Prague buildings over new metro lines made Metroproject company prepare guidelines against vibration transmission, where the resilient loading of rails, the shape of tunnels, geological terrain and also the transmission loss of building construction were evaluated. A new metro line in Prague has now four steps of insulation: two standard steps of rubber insulation direct under the railway, reinforced-concrete longitudinal sleeper plus the latest fourth step: cross reinforced-concrete segments under all steps before in the tunnel used. Sylodyn material from Austrian company Getzner was already successfully several times implemented.

1. Úvod

Hlavní cíl práce je ochránit stávající obytnou zástavbu při výstavbě nové trasy D metra v Praze tak, aby byly dodrženy hygienické limity. Kritickým hygienickým limitem je max. hladina akustického tlaku A v noční době, která je rovna 30 dB, viz [1].

Ačkoliv se jedná ve výsledku o hluk, tak celý systém výpočtu přenosu vibrací probíhá ve frekvenčním rozsahu oktávových pásem 1 – 1000 Hz. Teprve ve fázi vlastního vyzařování hluku v místnostech budovy se frekvenční rozsah redukuje na oktávová pásma 31 – 1000 Hz.

Zde popisovaná realizace pomocí příčných lamel při vibroizolaci traťového tělesa byla experimentálně použita na dvou úsecích prodloužené trasy metra C, v obytné zástavbě na Proseku. V těchto případech bylo nezbytné pro stávající zástavbu ve vzdálenosti základu budovy od kolejnice menší než 10 m zajistit minimální útlum 10 dB, aby byl dodržen výše uvedený hygienický limit.

2. Přenos vibrací do standardních konstrukcí tunelů v metru

V Metroprojektu byly do standardních realizací již před řadou let aplikovány dva základní stupně vibroizolace mezi kolejnicí a pražcem. Oba tyto stupně jsou relativně tuhými systémy s rezonancemi v oktávovém pásmu 31 Hz, obdoba viz [8]. První stupeň je tvořen gumokovovými částmi s rezonanční frekvencí 28 Hz a druhý stupeň obsahuje podkladní desky z recyklované pryže o rozměrech 200×300×25 mm (rezonance 25 Hz). Naměřené vibrace na kolejnici byly přepočítány na hodnoty za 2. stupněm vibroizolace mezi kolejnicemi na standardním příčném pražci. Ve spektru vibrací se systematicky vyskytují dva vrcholy: v oktávovém pásmu 8 – 16 Hz a druhý vrchol v pásmu 63 – 125 Hz. První vrchol je tvořen tradičním způsobem, a to vlivem uložení celého dynamického systému tratě v tunelu s určitým geologickým okolím. Tento vrchol je poněkud ovlivňován typem konstrukce tunelu. Druhý vrchol ve frekvenčním spektru je tvořen zejména prů-

jezdem vlakové soupravy po kolejnicích. Vrchol ve frekvenčním pásmu 63 Hz je představován rychlostí soupravy 5 až 40 km/hod. Vrchol v oktávovém pásmu 125 Hz nastane, jestliže souprava pojedí rychlostí 40 – 80 km/hod. Tyto poznatky doplňují všeobecné charakteristiky spekter vibrací v [10]. V následujících výpočtech prezentovaných v tomto článku se za základní zdrojové vibrace považuje hladina zrychlení ve vertikálním směru, vyjadřovaná v hladinách vůči referenční hodnotě 10^{-6} m.s^{-2} . Tyto hladiny se nacházejí v pásmu 75 – 105 dB. Útlum v prvních dvou stupních vibroizolace je velice nízký, tj. v průměru pouze 5 dB. Naměřené hladiny vibrací na patkách kolejnic před vibroizolací dosahují vyšších hodnot: 80 – 115 dB.

3. Další přidavné stupně vibroizolace

Standardní dva stupně vibroizolace, popsané v předchozí kapitole, nevyhovují náročným podmínkám zahušťování výstavby v pražské aglomeraci. Vysoké požadavky na útlum hluku šířeného konstrukcí od metra do převážně nových budov vyžadují další přidavné stupně vibroizolace.

Třetí stupeň vibroizolace v pražském metru je již řadu let realizován podélnými železobetonovými prahy. Průřez tohoto „betonového bloku“ pod předchozími dvěma standardními stupni vibroizolace je v průměru $0,7 \times 0,8 \text{ m}^2$. Tyto podélné prahy jsou již z dynamického hlediska uloženy daleko pružněji do vany z recyklované pryže o tl. 25 mm. Každý blok je dilatován ve směru kolejnice po úsecích cca 5 m, 2 mm fólií PVC. Pryžové desky pro uložení podélných prahů mají plošnou dynamickou tuhost $0,02 - 0,04 \text{ N.m}^{-3}$. Resonanční frekvence je 16 – 20 Hz. V ČR jsou tři základní výrobci recyklovaných pryží: Bohemiaelast, Pragoelast a Intertech. Jako nejefektivnější byl Metroprojektem vybrán materiál firmy Intertech. Naměřený útlum byl zjištěn v rozsahu 10 – 15 dB, viz [5]. V několika případech (vzdálenost základu budov pod 10 m od nejbližší kolejnice metra) bylo zapotřebí získat útlum vibrací o dalších cca 10 dB. Standardní směrnice Metroprojektu, viz [3], proto doporučuje 2 další stupně vibroizolace:

- o v konstrukci tunelu použít dilatační mezivrstvu po celém průřezu pružným materiálem o min. tl. 25 mm (požadovaná rezonance pod 50 Hz)
- o mezi budovou a tunelem přerušit geologický terén dilatační mezerou vysypanou šterkem o frakci 40 až 80 mm do hloubky základu budovy o šířce min. 0,6 m.

Realizace vyššího útlumu těmito způsoby byly sice úspěšně vyzkoušeny při prodloužení metra C v oblasti Ládví, ale ukázalo se, že jde o způsoby na hranici technických a finančních možností. Proto při vzdálenosti základů budov méně než 10 m od nejbližší tratě v metru byl autorem tohoto článku navržen a Metroprojektem realizován jediný a zcela odlišný (4. stupeň) vibroizolace. Všechny kolejnicové spodky, včetně podélných prahů, byly uloženy na příčné lamely, dilatované ve směru jízdy jako celek, po úsecích 1,2 m stejnou PVC fólií jako podélné prahy, viz obr. 1 a 2. Základní frekvence uložení byla 20 – 22 Hz.

4. Vliv tvaru tunelu na přenos vibrací

Během několika posledních let byl realizován rozsáhlý výzkum v této oblasti. Tvar tunelu způsobuje jisté zvýšení hladin vibrací vyzařovaných konstrukcí tunelu do geologického podloží (max. 6 dB). Jako výchozí průřez tunelu je brán tvar kruhový s hodnotou 0 dB. Oválný tvar průřezu tunelu s obousměrnou jízdou vlaků zvýší hladiny vibrací v průměru o 1,5 dB. Jestliže je oválný průřez tunelu rozdělen do dvou částí pro každý směr jízdy vlaků svislou příčkou, vzrůstá emise vibrací o 3 dB. Tunel obdélníkového průřezu rozdělený příčkou zvyšuje emisi o 4,5 dB vůči kruhovému (referenčnímu) tvaru a tunel obdélníkového průřezu bez příčky o 6 dB, viz [3]. Zde uvedené útlumy jsou poněkud nižší, než uvádí [11], ale byly ověřeny měřením na tunelech pražského metra. V průřezu tunelu zabírá podloží kolejnic 1/5 – 1/4 výšky tunelů. V tomto spodním prostoru tunelu mohou být realizovány další stupně vibroizolace.

5. Hluk šířený geologickým podložím

V geologickém podloží pražské aglomerace se nachází pět základních druhů hornin (od písků, přes jíly až po zvětralé břidlice). Směrnice Metroprojektu, viz [3], předpokládá a popisuje 5 stupňů vibroizolace ve smyslu předchozích kapitol při projektování nových tras metra a prodlužovaných tras metra. První dva způsoby přináší snížení vibrací pouze o 5 dB. Třetí nový stupeň s podélnými prahy vytváří větší útlum (cca 10 dB), ověřený měřením vibrací na prodloužené trase C v oblasti Tróje, viz [5]. Směrnice při projektování určuje v závislosti na vzdálenosti základu budovy od kolejnice nejbližšího metra a pěti základních druhů hornin v geologickém podloží počet povinných stupňů vibroizolace. Navíc směrnice požaduje, aby při výskytu spodní vody v podloží bylo systematicky vždy použito o 1 stupeň vibroizolace navíc. Spodní voda zvyšuje přenos vibrací geologickým podložím v oktaových

pásmech 16 – 125 Hz. Do vzdálenosti 30 m od základů budov ke kolejnici nejbližší trasy metra tak vznikla všeobecná povinnost posoudit přenos vibrací geologickým podložím a kontrolovat dodržení hygienických limitů hluku uvnitř budov.

Experimentálně byl zjišťován útlum v geologickém podloží pomocí „rozbušek“, vkládaných na dno geologických vrtů při projektování nové trasy metra D, (v hloubkách od 5 do 40 m). Tento systém testů vyvinula firma INSET, s. r. o. Ve vzdálenosti 5 – 10 m a v různých hloubkách byla sledována vibrační odezva v různých typech hornin. Největším překvapením bylo, že výskyt písků ve vzdálenosti do 10 m od vnějšího povrchu tunelového tělesa ukázal relativně o 3 – 5 dB menší útlumy než ve skalních horninách, což odpovídá švýcarským poznatkům, viz [12]. V tomto smyslu lze závěrem konstatovat, že umístění trasy metra do pískového podloží v porovnání se skalnatým podložím zvýší imisní hladiny vibrací tunelu až o 6 dB. Vysvětlením může být okolnost, že daleko vyšší impedance skály v porovnání s pískem pohltí více vibrací. Rozdíly v modulech impedance hornin jsou větší než 10 dB. Naopak, výskyt pískového podloží mezi skalními vrstvami na trase přenosu vibrací od tunelu metra k základům budov přináší významný útlum v oblasti 4 – 16 Hz. Tímto byla potvrzena teorie technické akustiky, viz [2], vycházející z [13], že se příznivě zvyšuje útlum odrazem zvukových vln na impedance rozhraní různých materiálů, v tomto případě hornin.

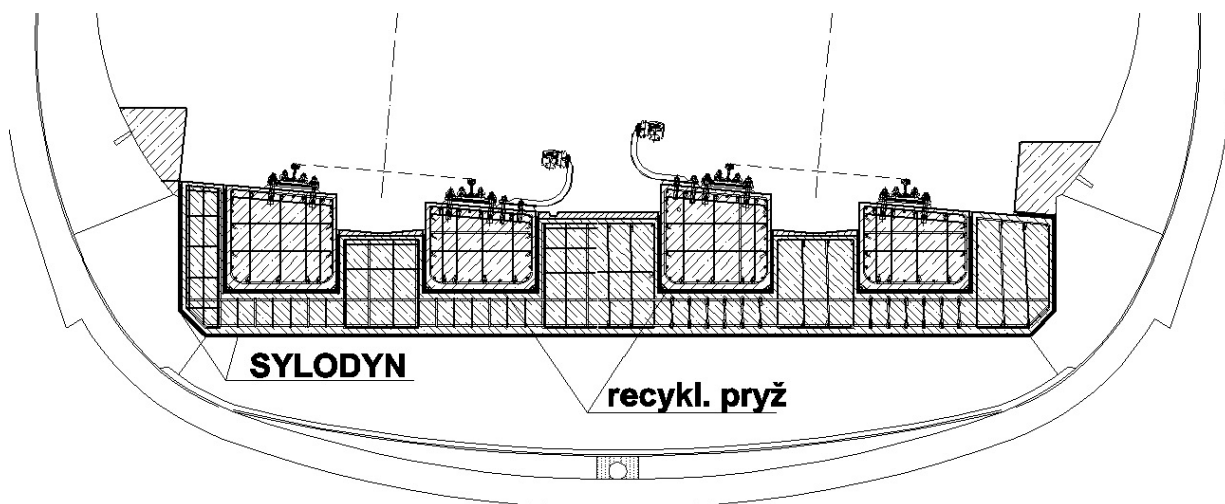
6. Horizontální kmitání výškových budov v kmitočtové oblasti pod 1 Hz

Výškové budovy obvykle kmitají na vlastních rezonancích v kmitočtové oblasti pod 1 Hz. Konkrétní vlastní kmitočty budov závisí na druhu konstrukce, resp. skeletu, plošném poměru půdorysu k výšce budov atd. Horizontální vibrace reagují na vybuzení v oktaovém pásmu 1 Hz a méně. Vyhodnocené hladiny těchto vibrací v budovách vycházejí podle § 15 lit. [1] významně podlimitní. Naměřené a hodnocené vibrace v oktaovém pásmu 1 Hz toto tvrzení dokazují. V hluku z metra se tyto vibrace neprojeví vůbec.

7. Přenos hluku konstrukcemi budov

Oblast přenosu hluku a vibrací byla již podrobněji popsána v minulosti, viz [4]. Útlum železobetonových konstrukcí domů se pohybuje v rozmezí 0,7 – 1,0 dB na podlaží, u zděných konstrukcí budov je tento útlum 1,0 – 1,2 dB na každé poschodí. Útlum v tomto případě znamená rozdíl v hladinách vibrací na podlahách mezi na sebe navazujícími podlažími. Tyto útlumy byly zjišťovány experimentálně pomocí několika nezávislých metod, viz [2], nejčastěji pomocí standardního zdroje kročejového hluku.

Vyzařování hluku šířeného konstrukcí v místnostech bylo ověřováno nejen měřením hluku, ale i výpočtem hladiny akustického tlaku při znalosti střední efektivní hodnoty rychlosti kmitání stěn, stropů a jejich vyzařovacího



Obrázek 1: Příčný řez tunelu metra s použitím příčných lamel, pružně uložených na materiálu SYLODYN

činitele v obytných místnostech. Vibrace podlah a zejména „plovoucích“ nepřispívají významně k vyzařování hluku konstrukcemi budov. Vyzařovací činitele jednotlivých částí budovy (stěn, stropů, oken a dveří) byly experimentálně definovány. Jejich velikost bývá povětšinou pro oktávová frekvenční pásma do 250 Hz rovna 3 dB, nad 250 Hz již 0 dB, tj. pro tato pásma plně přechází akustická energie z vibrujícího povrchu do vzduchu. Hladiny rychlostí vibrací povrchu stěn se pohybují v hodnotách 40 – 60 dB s referenční hodnotou hladin $5 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$. Je nutné upozornit, že podle norem ČSN ISO je referenční hodnotou hladiny rychlosti vibrací 10^{-9} m.s^{-1} , což zvyšuje hladiny rychlosti vibrací o 34 dB. Právě zavedení referenční hodnoty $5 \cdot 10^{-8} \text{ m.s}^{-1}$, odvozené od referenční hodnoty akustického tlaku $2 \cdot 10^{-5} \text{ N.m}^{-2}$ (Pa), dostává do úzké relace hladiny rychlostí vibrací s hladinami vyzářeného hluku. Exaktní způsob vyjadřování hladin by předpokládal uvádět u každého údaje v dB referenční hodnotu, což by značně komplikovalo text.

V konečné fázi výpočtů je vyzařování hluku konstrukcemi budov vzhledem k hygienickým limitům a lidskému vnímání hluku hodnoceno běžnou váhovou funkcí A.

8. Standardní kroky při snižování hluku od metra do budov

Jak již bylo naznačeno, v posledních letech Metroprojekt používá standardně základní dva stupně vibroizolace mezi kolejnicemi a pražci, dále pak podle potřeby útlumu vibrací podélné železobetonové prahy pod kolejnicemi. Délka podélných prahů je cca 5 m a jejich příčný průřez se blíží čtverci. Tyto prahy jsou pružně uloženy s rezonancemi

- o vertikálně cca 21 Hz
- o horizontálně cca 25 Hz

a způsobují útlum vibrací cca 10 dB (průměrovaný přes celý frekvenční rozsah 1 – 1000 Hz).

9. Nejnovější způsob vibroizolace pomocí příčných železobetonových lamel

Důvod, proč běžný přídavný útlum podélných železobetonových prahů standardně používaných v projekční praxi Metroprojektu nestačí, je kritická vzdálenost chráněných domů od tunelu metra (5 – 10 m). Základní „modální“ frekvence prahů, jako železobetonových bloků pružně uložených (20 – 25 Hz), se objevila v oblasti 80 – 160 Hz. Je to dáno především jejich délkou (cca 5 m), teoreticky dáno v [2]. Právě tyto rezonance musí být minimalizovány, neboť zasahují do druhého vrcholu maximálních emitovaných vibrací od průjezdu vlaků (v oktávových pásmech 63 a 125 Hz), jak bylo již výše zdůrazněno. Proto bylo přistoupeno k nejnovějšímu (4. stupni) izolace. Speciální tvar průřezu lamel pod oběma směry jízdy vlaků, tj. pod čtyřmi pružně uloženými podkolejnicovými prahy, je znázorněn na obr. 1.

Hloubka lamel je okolo 1,2 m s tím, že min. 0,5 m musí být pod „vanami“ podélných prahů. Délka realizovaných lamel ve směru kolejnic byla zvolena max. 1,5 m tak, aby došlo k minimalizaci vlastních podélných vidů kmitání železobetonových prahů. Pohled na realizaci ukazuje obr. 2.

Příčné lamely jsou pružně uloženy na materiálu SYLODYN NB 25 s tloušťkou 25 mm (rezonanční frekvence 20 – 22 Hz). Ve směru jízdy vlaků bylo použito standardní dilatace lamel navzájem 2 mm fólií PVC. Vlastní příčné rezonanční frekvence lamelových těles se vyskytují v oblasti 20 – 40 Hz, tj. v oblasti minima emitovaných vibrací od provozu metra. Konečný projekt byl kontrolován specialisty ČVUT Praha, ze Stavební fakulty, pod vedením prof. Petrtyla. Přídavné tlumicí účinky tohoto nejnovějšího způsobu jsou 12 – 14 dB.

10. Závěr

Spolupráce s Metroprojektem Praha významným způsobem rozšířila původní znalosti o šíření hluku v budovách



Obrázek 2: Fotografie pořízena během výstavby tunelu

jak ve fázi zdroje vibrací, tj. ve vlastním tunelu, tak v geologickém podloží v pražské aglomeraci.

Idea nejnovějšího způsobu účinného tlumení vibrací železobetonovými lamelami vznikla na základě řešení městských dálničních tunelů pod Západním Berlínem, vycházející původně z [9]. Řešení s příčnými lamelami přináší minimálně 10 dB útlum vibrací navíc.

Nejistoty výpočtů a měření hluku šířeného konstrukcí byly vyhodnoceny v rozsahu 1,5 – 6 dB v závislosti na fázi výpočtu přenosu od zdroje vibrací k vyzařovanému hluku, viz [6].

První informace o novém způsobu útlumu vibrací pomocí příčných lamel, pružně uložených v pražském metru, byla podána plakátovou formou na akustické konferenci ve Vysokých Tatrách v říjnu 2006, viz [7], avšak nebyla zpracována do písemné formy, proto je tento článek první publikací nové metody vibroizolace v tunelech metra na světě.

Reference

- [1] Nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- [2] Stěnička, J.: Hluk šířený konstrukcemi, SNTL, Praha 1989
- [3] Dědič, P., Stěnička, J.: Směrnice o ochraně budov proti vibracím od metra v pražské aglomeraci, Metroprojekt, Praha 2002
- [4] Meller, M., Stěnička, J.: Směrnice pro projektování obytných a průmyslových budov z hlediska hluku a vibrací, VUPS, Praha 1985
- [5] Bartoš, P., Lahodný, V., Schneider, K.: Výsledky měření vibrací na nových trasách metra v Praze, Metroprojekt, Praha 2003 – 2005
- [6] Stěnička, J.: Nejistoty měření a výpočtů vibrací při řešení hluku šířeného konstrukcí, Sborník akustického semináře ČsAS, Sezimovo Ústí, květen 2006
- [7] Dědič, P., Stěnička, J.: Newest steps in reduction of structure borne noise transmission from railway into nearest buildings used in Metro Company Projecting, High Tatra Acoustic Conference – poster presentation, Hotel Patria, Štrbské Pleso, 10/2006
- [8] Rüdiger, G., Rolf, J. D.: The dynamic stiffness as an indicator of the effectiveness of a resilient rail fastening system applied as a noise mitigation measure: laboratory tests and field application, Rail Engineering International, Edition 2000 No 4, str. 7 – 10
- [9] Jaquet, T., Heiland, D., Flöttmann, H.: Tiefabgestimmtes masse-Feder-System bei der Flughafenanbindung Köln/Bonn, Special ETR 53(2004), Heft 6 – červen, str. 382 – 391, Rakousko
- [10] Leykauf, G., Stahl, W.: Unterschugen und Erfahrungen mit besohlenen Schwellen, EI Eisenbahningenieur /55/, 6/2004
- [11] Steinhäuser, P., Lang, J., Österreicher, M., Berger, P.: Schutz des Wiener Musikvereins- Gebäudes gegen Schall- und Erschütterungsimmissionen der U-Bahn, Special ETR Austria, 1/05, str. 216 – 226
- [12] Haag, J., Gloor, M., Rutishauser, G.: Erschütterungsschutz im Tunnel der SBB- Neubaustrecke Zürich-Thalwil, Special ETR Austria 54(2005), Heft 6 – červen, str. 363 – 370, Rakousko
- [13] Němec, J., Ransdorf, J., Šnedrle, M.: Hluk a jeho snižování v technické praxi, SNTL, Praha 1971



No. 1 · pp. 1–172 · January/February 2007 E 21 466 · ISSN 1610-1928

Volume 93

ACTA ACUSTICA

UNITED WITH

ACUSTICA

The Journal of the European Acoustics Association (EAA) · International Journal on Acoustics

Table of Contents

Scientific Papers

General Linear Acoustics

S. Robert, J.-M. Conoir

Reflection and Transmission Process From a Slab-Like Region Containing a Random Distribution of Cylindrical Scatterers in an Elastic Matrix 1

Nonlinear Acoustics, Macrosonics

C. M. Hedberg, C. E. K. Haller, S. Arnoldsson

Non-Contact Nonlinear Acoustic Damage Localization in Plates. Part I: Resonance of Air Between Plates 13

Atmospheric Sound

F.-E. Aballéa, J. Defrance

Single and Multiple Reflections in Plane Obstacle Using the Parabolic Equation Method with a Complementary Kirchhoff Approximation 22

Physical Acoustics

S. Chen, T. Tang, Z. Wang

The Mechanical Models of the Local Resonance Phenomenon in One-Dimensional Phononic Crystals 31

Structural Acoustics

M.-H. Moulet, F. Gautier

Reflection, Transmission and Coupling of Longitudinal and Flexural Waves at Beam Junctions. Part II: Experimental and Theoretical Results 37

F. Wullens, W. Kropp

Wave Content of the Vibration Field of a Rolling Tyre 48

S. Schneider, P.-O. Mattei

Sound Transmission Through Multilayered Shells. Experiments and Modelling 57

Active Control

J. Prezelj, M. Čudina

Dipole in Orthogonal Direction as a Secondary Source for Active Noise Control in Ducts 63

Environmental Noise

K. Furihata, T. Yanagisawa, D. K. Asano, K. Yamamoto

Development of an Experimental Noise Annoyance Meter 73



S. Hirzel Verlag · Stuttgart

III



No. 1 · pp. 1 – 172 · January/February 2007 E 21 466 · ISSN 1610-1928

Volume 93

ACTA ACUSTICA

UNITED WITH

ACUSTICA

The Journal of the European Acoustics Association (EAA) · International Journal on Acoustics

Building Acoustics

B. M. Gibbs, N. Qi, A. T. Moorhouse

A Practical Characterisation for Vibro-Acoustic Sources in Buildings 84

Room Acoustics

V. Valeau, M. Hodgson, J. Picaut

A Diffusion-Based Analogy for the Prediction of Sound Fields in Fitted Rooms 94

Acoustic Materials

F. C. Sgard, N. Atalla, C. K. Amedin

Vibro-Acoustic Behavior of a Cavity Backed by a Plate Coated with a Meso-Heterogeneous Porous Material 106

Hearing, Audiology and Psychoacoustics

J. L. Verhey, J. Rennie, S. M. A. Ernst

Influence of Envelope Distributions on Signal Detection 115

Musical Acoustics

L. Millot, C. Baumann

A Proposal for a Minimal Model of Free Reeds 122

P. Carlsson, M. Tinnsten

Geometrical Compensation for Varying Material Properties in Bows by the Use of Numerical Optimization 145

Technical and Applied Papers

J. Kang, Z. Li

Numerical Simulation of an Acoustic Window System Using Finite Element Method 152

O. A. B. Hassan

Experimental Investigations on the Force Mobility of an Elastic Stratum on a Rigid Base 164

Short Communications

R. A. Thuraishingham

Local Instability of the Ray Model 167

European Acoustics Association News 169

Upcoming Events 170

Instructions for Authors 171

Editorial Board 172



Akustické listy: ročník 13, číslo 1 březen 2007

ISSN: 1212-4702

Vydavatel: Česká akustická společnost, Technická 2, 166 27 Praha 6

Vytisklo: Nakladatelství ČVUT, výroba

Počet stran: 16

Počet výtisků: 200

Redakční rada: M. Brothánek, O. Jiříček, J. Kozák, R. Čmejla, F. Kadlec, J. Štěpánek, P. Urban, J. Burčík

Jazyková úprava: R. Svobodová

© ČsAS

Uzávěrka příštího čísla Akustických listů je 31. května 2007.

NEPRODEJNÉ!