

EXPOZICE VIBRACEMI PŘENÁŠENÝMI NA RUCE U OSOB S ROZDÍLNOU DOBOU PRACOVNÍ ADAPTACE

HAND-ARM VIBRATION EXPOSURE IN PERSONS WITH DIFFERENT TIMES OF WORKING ADAPTATION

Abstrakt

Príspevek se zabývá problematikou měření a hodnocení expozice vibrací přenášených na ruce při práci s ručním elektrickým nářadím. Součástí příspěvku je prezentace naměřených hodnot a jejich interpretace s důrazem na délku adaptace vybraných osob, u kterých je hygienická expozice hodnocena.

Abstract

The contribution deals with measurement and assessment of exposure of hand-arm vibration at work with electric hand tools. Part of the contribution is the presentation of measured values and their interpretation with emphasis on the time of adaptation of selected persons who are subject to hygienic exposure assessment.

Key words: Hand-arm vibration, exposure assessment, health effects, working adaptation

Úvod

Vibracemi, jako fyzikálním faktorem pracovních podmínek, se rozumí vibrace přenášené pevnými tělesy na lidské tělo. S ohledem na to, že vibrace mohou mít velmi nepříznivé účinky na zdraví, jsou především z preventivních důvodů stanoveny hygienické limitní hodnoty pro všechny známé možnosti expozice v pracovním i životním prostředí.

Právním předpisem v České republice, kterým jsou hygienické limitní hodnoty hluku a vibrací stanoveny, je nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Jedná se o prováděcí předpis k zákonu č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, ve znění pozdějších předpisů.

Zaměstnavatelé, kteří provozují stroje a zařízení, které jsou zdrojem hluku nebo vibrací, jsou povinni technickými, organizačními a dalšími opatřeními zajistit, aby vibrace nepřekračovaly platnou legislativou stanovené hygienické limity, a to pro chráněné venkovní i vnitřní prostory staveb a aby bylo zabráněno nadlimitnímu přenosu na lidský organismus.[1]

Podle způsobu přenosu a okolních podmínek rozlišujeme celkové vertikální a horizontální vibrace, vibrace přenášené zvláštním způsobem a vibrace přenášené na ruce [2].

Z hlediska výskytu nepříznivých zdravotních dopadů jsou nejzávažnější vibrace přenášené na ruce. Vibrace přenášené na ruce jsou vibrace, které se přenášejí z vibrující rukojeti nebo jiného předmětu přidržovaného rukou, zejména na ruce exponované osoby (například vibrace přenášené na ruce z rukojeti ručního mechanizovaného nářadí, vibrace přenášené z řídítek nebo volantu).

¹ Ing., VŠB – TUO, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra bezpečnostního managementu, e-mail: svetla.fiserova@vsb.cz

Vliv vibrací přenášených na ruce na zdraví

Vibrace přenášené na ruce se vyskytují při práci s nářadím elektrickým, pneumatickým, hydraulickým (ruční vrtačky, brusky, pily, rozbrušovačky, utahováky, pěchovačky, sbíječky, kladiva) řetězové pily se zabudovaným spalovacím motorem, úderná nářadí. K přenosu na ruce dochází při přenosu z opracovávaného materiálu např. pomocí lisů, bucharů, ve stolařských dílnách apod.

V závislosti na typu a umístění pracoviště mohou vibrace vstupovat jen do jedné paže, nebo do obou paží současně a mohou být přenášené rukou a paží do ramene. Vibrace části těla a vnímané vibrace jsou často zdrojem nepohody a možného snížení pracovní výkonnosti. Je prokázáno, že dlouhodobé používání vibrujících mechanizovaných nářadí je spojeno s výskytem příznaků onemocnění postihujících cévy, nervy, kosti, klouby, svaly nebo vazivové tkáně ruky a předloktí.

U vibrací, které mohou být škodlivé pro zdraví, jsou stanoveny hygienické limity. Důsledkem překračování stanovených limitů je vznik profesionálního poškození zdraví, které je hodnoceno vyhlášením nemoci z povolání nebo ohrožení nemocí z povolání.

Při práci s vibrujícími nástroji a zařízeními může dojít k rozvoji onemocnění horních končetin, která jsou ve stávajícím seznamu obsažena dokonce třemi položkami, a to:

- nemoci cév rukou (diagnosticky ověření bělení prstů v chladu),
- nemoci periferních nervů horních končetin charakteru ischemických a úžinových neuropatií,
- nemoci kostí a kloubů rukou nebo zápěstí nebo loktů – aseptické nekrózy zápěstních nebo prstních kůstek nebo izolovaná artróza kloubů ručních, zápěstních nebo loketních, spojené se závažnou poruchou funkce vedoucí k výraznému omezení pracovní schopnosti.

Podmínky vzniku onemocnění jsou dosud definovány tak, že vznikají při práci s pneumatickým nářadím ručně ovládaným nebo při práci s vibrujícími nástroji s takovými hodnotami zrychlení vibrací, které jsou podle současných lékařských poznatků příčinou nemoci.

Ze statistik Státního zdravotního ústavu [9], jenž každoročně zpracovává přehled vyhlášených profesionálních onemocnění, vyplývá, že přestože dochází trvale k mírnému poklesu celkového absolutního počtu vyhlášených nemocí z povolání a ohrožení nemocí z povolání, lze konstatovat, že procentuální podíl profesionálních onemocnění způsobených při práci s vibrujícími nástroji a zařízeními zůstává s mírnými odchylkami konstantní. Vyhlášená profesionální poškození zdraví způsobená vibracemi přenášenými na ruce tvoří cca 17% ze všech profesionálních onemocnění.

Metody hodnocení pracovní expozice

Metody hodnocení vibrační expozice i v oblasti vibrací přenášených na ruce jsou v ČR v souladu s platnými právními normami EU.

Poslední direktiva týkající se vibrací působících na člověka byla přijata 25.6.2002 – The Human Vibration Directive 2002/44/EC, která stanovuje minimální zdravotní a bezpečnostní požadavky týkající expozice pracujících vystavených riziku fyzikálních faktorů – vibrací. (minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents – vibration).

Při měření a hodnocení vibrací se postupuje dle normových metod, kterými se rozumí metody obsažené v české technické normě za podmínek stanovených v nařízení vlády č.148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

Pro měření a hodnocení vibrací je používána ČSN EN ISO 5349 Měření a hodnocení expozice vibracím přenášeným na ruce Část 1 – všeobecné požadavky, Část 2 – praktický návod pro měření na pracovním místě.

Charakteristika hodnocení pracovní expozice

Pro potřeby hygienického hodnocení vibrací přenášených na ruce se jako určující veličina používá hladina zrychlení vibrací L_a a efektivní hodnota zrychlení vibrací a_e .

Hladina zrychlení vibrací L_a je určena vztahem

$$L_a = 20 \log (a/a_0) \text{ [dB]}$$

kde

- a je okamžité zrychlení vibrací v m.s^{-2} ,
- a_0 je referenční hladina zrychlení vibrací v m.s^{-2} ,
- a_0 je 10^{-6} m.s^{-2} .

Efektivní hodnoty zrychlení vibrací a_e je určena vztahem

$$a_e = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt} \quad [\text{m.s}^{-2}]$$

kde

- $a(t)$ je okamžité zrychlení v m.s^{-2} ,
- T je doba, pro kterou je třeba určit efektivní hodnotu zrychlení v s.

Hladiny zrychlení vibrací a efektivní hodnoty zrychlení vibrací jsou vzájemně zastupitelné veličiny vibrací.

Vážená hladina zrychlení vibrací L_{aw} je hladina zrychlení vibrací, která odpovídá kmitočtové korekci pro daný způsob a podmínky přenosu a směr vibrací. Vyjadřuje se v dB. Souhrnná vážená hladina zrychlení vibrací je dána vektorovým součtem vážených efektivních hodnot zrychlení ve třech ortogonálních osách.

Kmitočtová pásma, ve kterých je třeba hodnotit vibrace s ohledem jejich působení na člověka, jsou u vibrací přenášených na ruce v rozmezí 8 – 1000 Hz.

Limitní hodnota (nejvyšší přípustné hodnoty) stanovená [2] pro osmihodinovou pracovní dobu pro vibrace přenášené na ruce je to $L_{ahv,8h} = 123 \text{ dB}$ (průměrná souhrnná vážená hladina zrychlení vibrací), to je $a_{hv,8h} = 1,4 \text{ m.s}^{-2}$ (průměrná souhrnná vážená hodnota zrychlení vibrací). Tento limit je zároveň určující pro zařazení práce do 3. rizikové kategorie práce [4].

Pro jinou denní pracovní dobu se stanoví limitní hodnota tak, (nebo pracovní dobu – dobu skutečné expozice vibracím), že se připočte korekce K_T , vypočtená podle vztahu:

$$K_T = 10 \log (480/T) \text{ [dB]}$$

kde

- T je pracovní doba ve vibracích v minutách za směnu [2]

Při výpočtu expozice a objektivizaci celkové zátěže je možné také stanovení průměrné expozice vibracím za více pracovních dnů. Použití je namístě na takových pracovištích, kde pracovní doba není rovnoměrně rozložena a kde dochází v průběhu týdne k značným změnám expozice, ale týdenní expozice vibracím se však výrazně neliší.

Nejčastěji se v provozních podmínkách jako rizikový faktor pracovního prostředí vyskytují vibrace přenášené na ruce, a to z vibrujících náradí, vibrujících strojů nebo vibrujících opracovávaných předmětů.

Měření vibrací přenášených na ruce

Vibrace se standardně měří v místě přenosu vibrací na člověka. Tedy tam, kde se vibrující zařízení stýká s lidským organismem. Při hodnocení nepříznivého působení vibrací přenášených na člověka je rozhodující způsob přenosu, dominantní směr a frekvence vibrací.

Pro posouzení směrových účinků vibrací byly stanoveny soustavy souřadnic lidského těla a ruky, ve kterých se provádí měření. Zásadně hodnotíme jen posuvné, neboli translační vibrace. Kmitočet vibrace se sleduje zejména za účelem omezení nepříznivého působení vibrací na rezonančních frekvencích lidského organismu. Nezbytné je zajistit dodržování nejvyšších přípustných hodnot vyjadřovaných obvykle jako nejvyšší přípustná vážená hladina zrychlení vibrací platná pro osmihodinovou pracovní směnu [6].

Místní vibrace přenášené na ruce se měří ve všech třech směrech pravouhlé soustavy, které odpovídají osám x , y a z biodynamické soustavy. Bazicentrická soustava souřadnic odpovídá biodynamické soustavě obecně natočené v rovině y - z tak, že směr y je rovnoběžný s osou rukojeti [5].

Nejistoty měření a hodnocení expozice vibrací přenášených na ruce

Vibrace lze měřit pro jednotlivé osy buď současně, nebo postupně. Postup měření závisí na typu požitého měřicího přístroje. Je-li to možné, upřednostňuje se měřit chvění ve všech třech osách současně. Postupná měření v každém ze tří směrů jsou přípustná pouze tehdy, pokud při všech měřeních budou dodrženy stejné nebo podobné provozní podmínky.

Biologické účinky vibrací jsou závislé na spojení ruky se zdrojem chvění. Toto spojení může značně ovlivnit velikost naměřených hodnot [3]. Proto se musí měření provádět za působení sil, které jsou reprezentativní pro spojení ruky s vibrujícím mechanizovaným náradím, rukojetí nebo opracovávaným předmětem při typické činnosti náradí nebo typickém pracovním postupu. Mechanické vibrace zpravidla obsahují velký počet složek, vyskytujících se současně na mnoha frekvencích, takže pouhým pozorováním časového průběhu jeho amplitud nelze určit ani počet, ani frekvence jednotlivých složek. Jednotlivé složky mechanického chvění mohou být zjištěny pouze ze závislosti jeho amplitud na frekvenci. Rozklad složených vibrací na frekvenční složky se nazývá frekvenční vážení a je jednou ze základních metod v oboru měření vibrací [7].

Zdroje nejistoty závisejí na měřené pracovní činnosti. Při měření vibrací přenášených na pracovníky bude nejistota ovlivněna činiteli, které se vztahují k jednotlivým měřením, jako jsou [5]:

- přesnost měřicího přístroje,
- kalibrace,
- elektrické rušení kabelů,
- přípevnění, hmotnost a umístění accelerometru,
- změny v metodě práce obsluhy v důsledku toho, že je předmětem měření.

Kromě toho nejistota souhrnného hodnocení expozice vibracím bude ovlivněna změnami, které se vyskytnou v průběhu pracovního dne, jako jsou:

- změny stavu mechanizovaného nářadí a vloženého nástroje (*např. změny brusného kotouče mohou výrazně změnit vibrace přenášené na obsluhu*),
- změny polohy a vyvíjených sil, adaptabilita obsluhy
- změny ve vlastnostech obráběných materiálů.

Experimentální měření v reálných podmínkách

Experimentální měření proběhlo s cílem potvrzení výše uvedeného předpokladu vlivu adaptability obsluhy na velikost expozice. Vyšší expozice by měla být zjištěna u osoby neadaptované a to ve všech třech ortogonálních osách působení. Měření pracovní zátěže vibrací přenášených na ruce bylo prováděno při obvyklé činnosti broušení hranolu ze smrkového dřeva o šířce cca 60 mm pásovou bruskou. Výše zmíněnou činnost postupně prováděli dva lidé, nejprve zacvičený – adaptovaný pracovník a poté neadaptovaný pracovník, který s podobným zařízením pracoval poprvé.

Důvodem takto koncipovaného měření přenosu vibrací na horní končetiny dvou osob při použití stejného nářadí a stejného pracovního postupu při opracovávání stejného materiálu bylo vzájemné porovnání naměřených hodnot expozice adaptované a neadaptované osoby. Pro hodnocení naměřených výsledků se předpokládá, že ani jedna z exponovaných osob mimo expozici danou bruskou (*po dobu 30 min*) nebude vystavena dalším zdrojům chvění v průběhu zbývajících osmihodinové pracovní směny. Měření se uskutečnilo [8] v prostorách Fakulty bezpečnostního inženýrství VŠB – TUO a provádělo se za standardních podmínek odpovídajících běžné práci s daným typem zařízení. Měření probíhalo na venkovní rampě, podmínky měření byly následující: venkovní teplota – 12,3°C, relativní vlhkost vzduchu – 62%, atmosférický tlak – 968,5 bar.

Zdrojem vibrací byla ruční elektrická pásová bruska Bosch, konkrétně typ PBS 75 AE, která se standardně používá k plošnému broušení za sucha, při vysokém úběru dřeva, umělých hmot, kovů, tmelů, lakovaných povrchů a jimi podobných materiálů.

Strategie a způsob měření

Vibrace byly měřeny ve všech třech směrech bazicentrické soustavy souřadnic tříosým accelerometrem typ 4524. Při měření byl snímač připevněn k podložce, a ta byla pomocí stahovacích plastových pásek a lepenky uchycena k místům úchopů jednotlivých zdrojů vibrací

K realizaci měření byl použit 1/3 oktávový analyzátor signálu 2260 ObserverTM a Front-end 1700, zařízení pro snímání vibrací ve třech osách působení – tříosý snímač vibrací, typ 4524. Měřicí přístroje byly kalibrovány před a po každém měření kalibrátorem typ 4294. Všechny měřicí přístroje, včetně kalibrátoru, jsou měřicími přístroji s příslušenstvím běžně používanými pro profesionální hygienická i technická měření od firmy Brüel & Kjær, neboť splňují požadavky k měřením v 1/3 oktávových pásmech, která odpovídají požadavkům na podrobná měření v první třídě přesnosti v rozsahu $\pm 0,8$ dB [3]. Měření proběhlo v souladu s ČSN ISO 5349 – 2 – praktický návod pro měření na pracovním místě.



Foto č. 1: Adaptovaná osoba při expozici v průběhu měření



Foto č. 2: Měřicí sestava: accelerometr 4524, 2260 Observer TM a Front-end 1700

Výsledky měření

Naměřené hodnoty v $\frac{1}{3}$ oktávových pásmech efektivních hladin vibrací L_{hi} obou pracovníků jsou pomocí programu Brüel & Kjær 7820 Evaluator_{TM} převedeny do tabulek výsledků. Program pak umožňuje prezentace všech výsledků měření jednotlivě ve třech osách působení – x,y,z, také v přehledné grafické podobě. Jednotlivá spektra grafického výstupu jsou zpracována pro obě ruce exponovaných osob ve všech směrech působení. U vibrací přenášených na ruce jsou významné frekvence od 8 do 1000 Hz. Barevně jsou rozlišeny maximální, ekvivalentní a minimální hladiny vibrací. V grafech č. 1 – 4 je dokumentována grafická prezentace pouze v osách x – obou rukou u obou exponovaných osob. Podrobné výsledky v tabulkové i grafické podobě ze všech proběhlých měření jsou obsahem zdrojového materiálu.

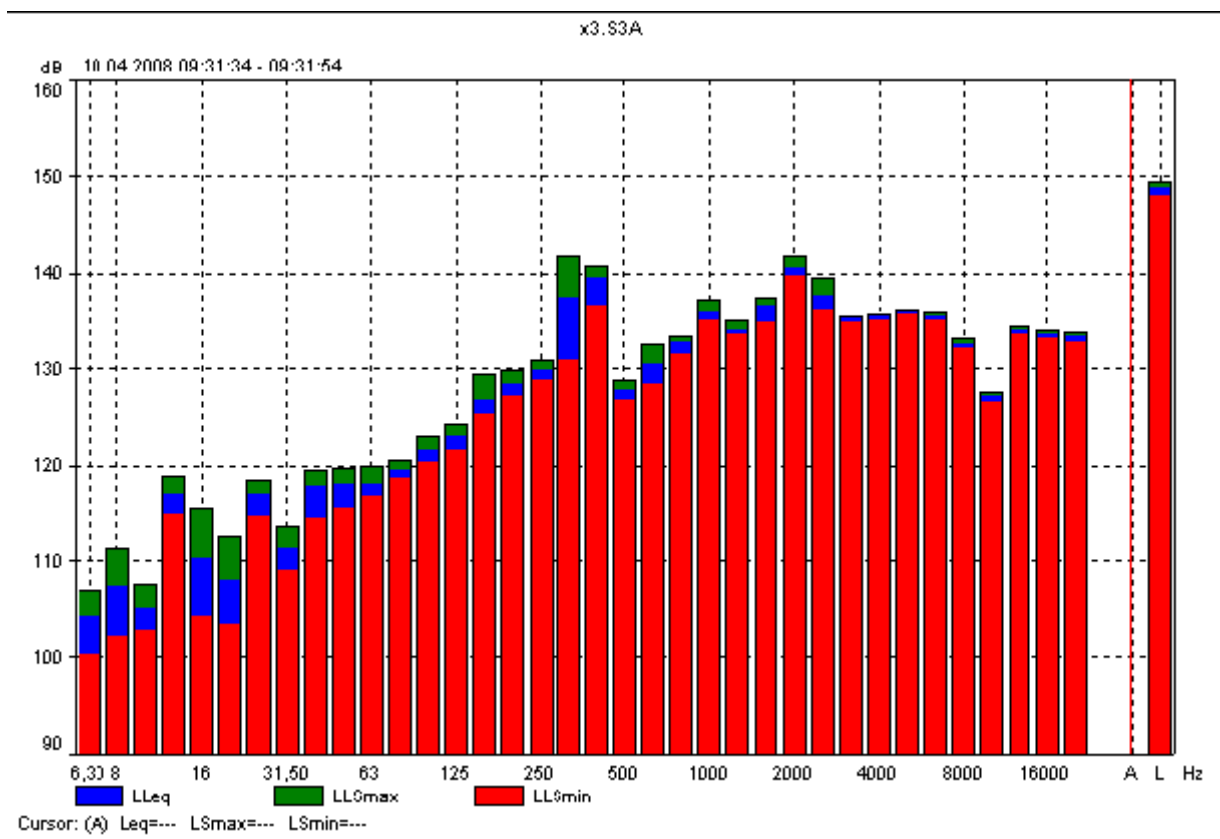
Výsledky měření jsou přepočtené pro osmihodinovou pracovní směnu a pro dobu, kdy je pracovník vystaven působením vibrací ($T = 30 \text{ minut}$),

kde

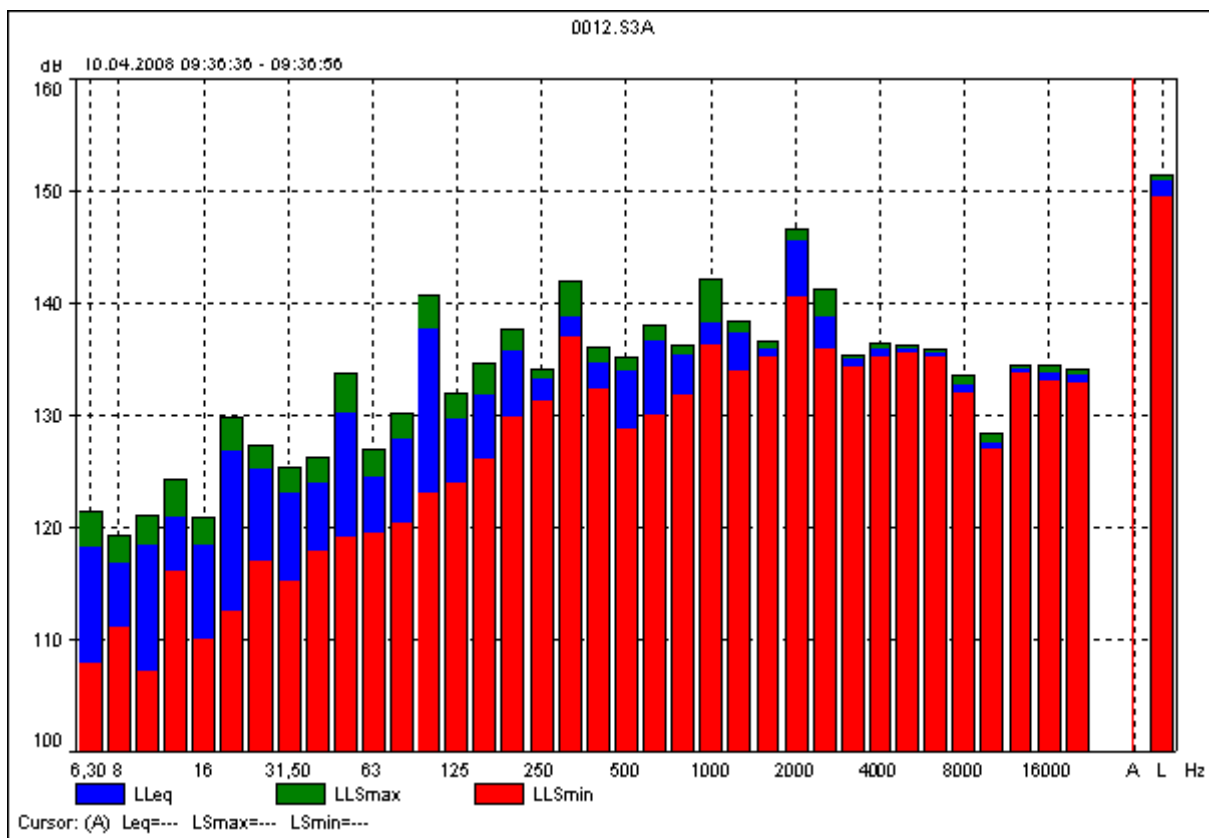
$L_{ahv,8h}$ je průměrná souhrnná vážená hladina zrychlení vibrací [dB],

$a_{hv,8h}$ je průměrná souhrnná vážená hodnota zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$].

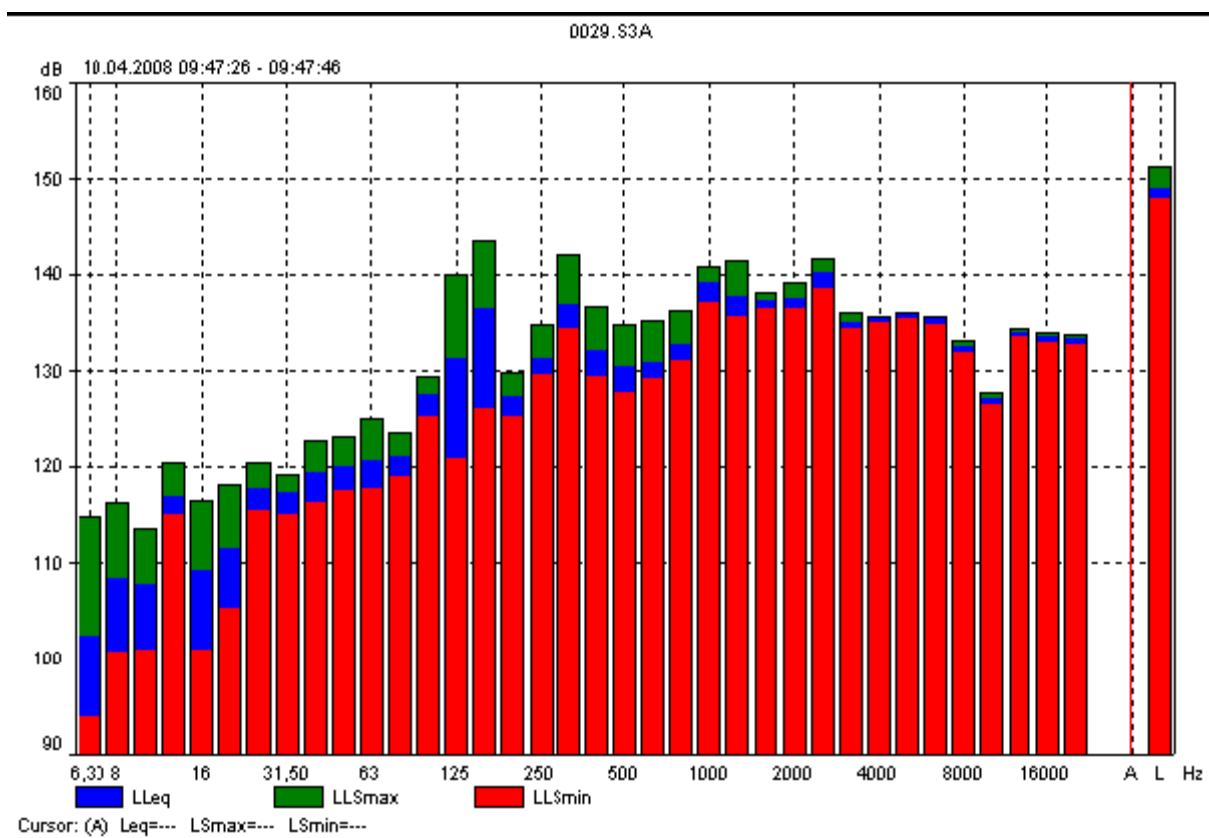
Zvýšená expozice u neadaptované osoby byla u obou rukou a ve všech třech měřených osách působení v jednotlivých frekvencích v rozsahu 0,8 – 4,7 dB [8].



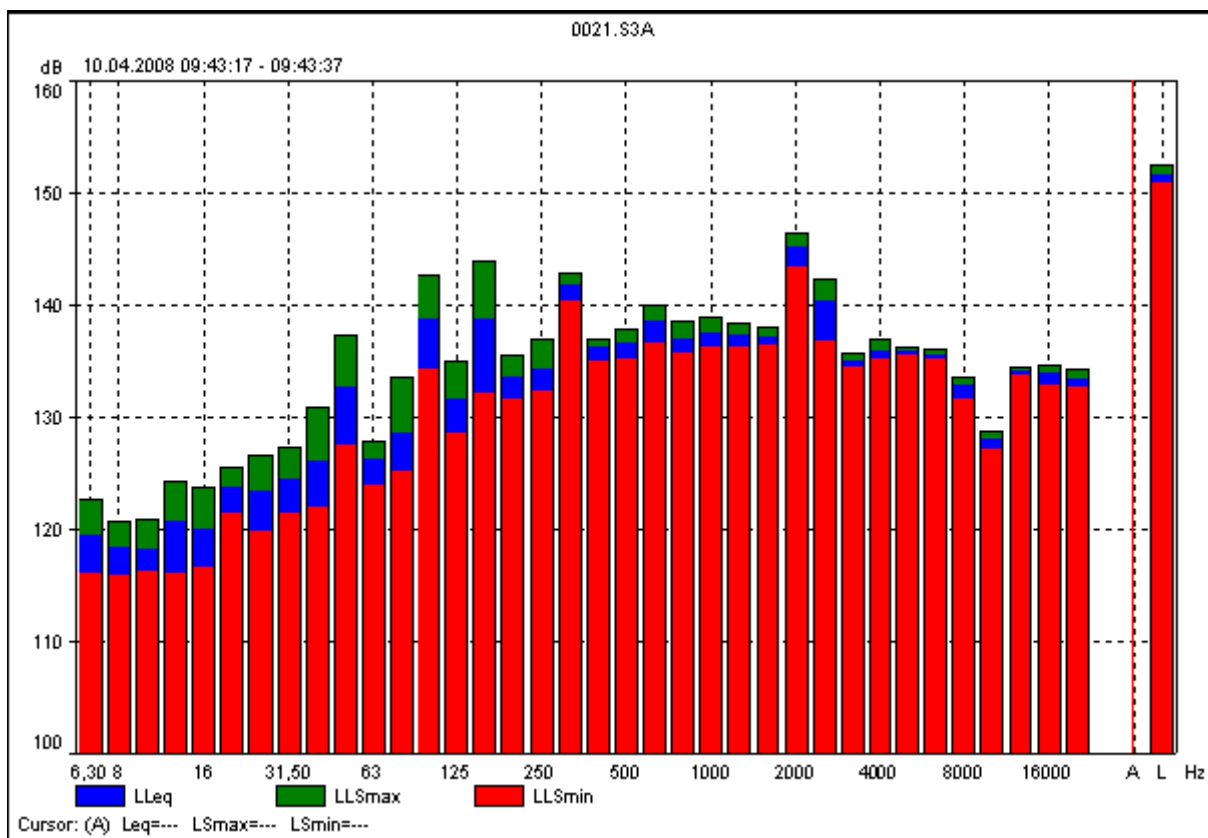
Graf č. 1: Spektrum vibrací působících v ose x na pravou ruku adaptované osoby



Graf č. 2: Spektrum vibrací působících v ose x na pravou ruku neadaptované osoby



Graf č. 3: Spektrum vibrací působících v ose x na levou ruku adaptované osoby



Graf č. 4: Spektrum vibrací působících v ose x na levou ruku neadaptované osoby

V tabulkách 1 – 2 jsou uvedeny přepočtené výsledky měření, a to jak v dB, tak v $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

V tabulce č. 1 jsou prezentovány nižší naměřené a přepočtené expozice vibracím přenášeným na ruce u adaptované osoby, v tabulce č. 2 jsou prezentovány hodnoty neadaptované osoby.

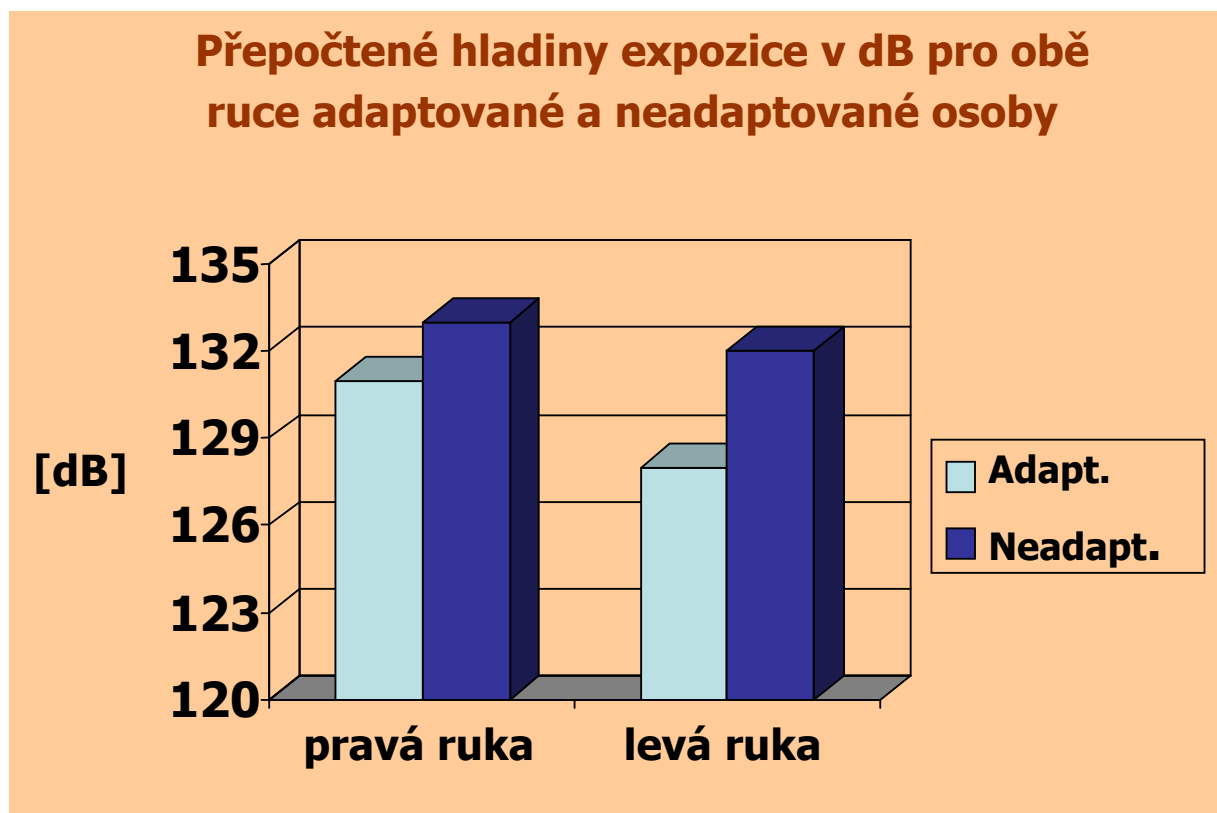
Tabulka č. 1: Výsledné hodnoty expozice adaptované osoby

Přepočtená expozice vibracemi s přenosem na ruce	Pravá ruka	Levá ruka
$L_{ahv,T}$	131,7 dB	128,6 dB
$a_{hv,T}$	3,86 $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	2,69 $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
$L_{ahv,8h}$	119,7 dB	116,6 dB
$a_{hv,8h}$	0,96 $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	0,67 $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

Tabulka č. 2: Výsledné hodnoty expozice neadaptované osoby

Přepočtená expozice vibracemi s přenosem na ruce	Pravá ruka	Levá ruka
$L_{ahv,T}$	132,8 dB	131,8 dB
$a_{hv,T}$	4,36 $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	3,89 $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
$L_{ahv,8h}$	120,8 dB	119,8 dB
$a_{hv,8h}$	1,09 $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$	0,97 $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

V následujícím grafu č. 5 jsou prezentovány výsledné přepočtené hodnoty expozice z naměřených hodnot ve všech třech osách působení vibrací přenášených na ruce v dB (zvýrazněné hodnoty uvedené v tabulkách 1,2) na pravou a levou ruku u adaptované a neadaptované osoby.



Graf č. 5: Přepočtené hladiny expozice v dB pro pravou a levou ruku adaptované a neadaptované osoby

V tabulkách č. 1, č. 2 a grafu č. 5 demonstrovány přepočtené hladiny expozice vibracemi přenášenými na ruce dokládají vyšší zátěž na pravou i levou ruku neadaptované osoby. Pro pravou ruku je zátěž vibracemi po provedení přepočtu vyšší u neadaptované osoby o 1,1 dB a pro levou ruku o 3,2 dB než u osoby adaptované.

Závěr

U všech provedených měření byly totožné podmínky prováděné činnosti i samotného průběhu měření. Naměřené hodnoty byly ve všech osách působení na obě ruce exponovaných osob vždy vyšší u osoby, která nebyla na pracovní činnost adaptovaná. Experimentálním měřením prováděným za standardních podmínek v souladu s požadavky příslušné legislativy byl potvrzen předpoklad vyšších expozic vibracím přenášeným na ruce u osoby nezacvičené a neadaptované na konkrétní pracovní výkon. Vlivem zácviky, zkušenosti s velikostí úchopu rukojeti zařízení i přidržovaného opracovávaného materiálu pro konkrétní pracovní činnost dochází ke snížení zátěže. Pro určení míry závislosti zácviky a adaptace na pracovní podmínky je potřeba provést ještě mnoho dalších ověřovacích měření.

Dříve publikované i nyní prezentované výsledky měření velikosti expozice vibracím přenášeným na ruce potvrzují, že neadaptované osoby jsou vystaveny vyšší expozici.

Tento závěr by měl být respektován vždy při nastavení preventivních opatření, a to tak že by preventivní opatření měla být přísnější po dobu zácvičku. Je známo, že preventivní opatření ke zmírnění vlivu vibrací přenášených na ruce nelze zajistit pomocí prostředků osobní ochrany. Účinná jsou opatření, která spočívají v úpravách režimu práce. U neadaptovaných osob se po dobu zácvičku jedná zejména o přiměřené zkrácení jednorázové i celosměnové expozice dle konkrétních podmínek práce.

Seznam použité literatury

- [1] Zákon č. 258/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů, o ochraně veřejného zdraví
- [2] Nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- [3] Smetana, C.: *Hluk a vibrace*, Sdělovací technika, Praha 1998, ISBN 80–901936–2–5
- [4] Vyhláška MZd. č.432/2003 Sb., kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli
- [5] ČSN EN ISO 5349–1, 5349–2, Český normalizační institut, 2002
- [6] Tuček et al: *Pracovní lékařství pro praxi*, GradaPublishing, a.s., Praha 2005, ISBN 80–247-0927–9
- [7] *Měření chvění* [online]. Brüel & Kjær [cit. 2008–04-25]. Dostupný z [www: <http://www.spectris.cz/sv/download/literatura/Mereni_chveni.pdf>](http://www.spectris.cz/sv/download/literatura/Mereni_chveni.pdf)
- [8] Michálek, M.: *Rizikový faktor vibrace*, Diplomová práce VŠB – TUO, FBI 2008, obor BI
- [9] Nemoci z povolání a ohrožení nemocí z povolání hlášené v České republice <http://www.szu.cz/data/nemoci-z-povolani>