

Ing. Antonín Z b o r e k, VÚHU ,

Jiří M a r e k, VÚHU

Problematika měření nízkofrekvenčních vibrací na lomové mechanizaci

Úvod

Vzhledem k vzestupnému trendu rozvoje těžby v SHR, realizované zaváděním stále výkonnějších strojů, nabývá problematika vibrací na zařízeních lomové techniky stále většího významu jak pro bezpečnost a spolehlivost provozu, tak i pro ochranu zdraví pracujících.

Hlavním cílem výzkumu v oblasti boje proti vibracím je návrh účinných kroků k zajištění zdravých a hygienicky nezávadných pracovních podmínek. Podrobná znalost situace je prvním nutným předpokladem úspěchu při hledání opatření proti vibracím. Teprve po provedení průzkumu výskytu škodlivých vibrací je možno přistoupit k návrhům opatření na snížení těchto nepříznivých účinků na pracující obsluhu.

Směrnice 33 MZd ČSSR, vydané v hygienickém předpise sv.29/67 předpokládají hodnocení působení vibrací na člověka podle oktákových spekter hladin zrychlení chvění v rozsahu oktáv 1 Hz až 1 kHz. Oktákovou analýzu vibrací v infrazvukové oblasti kmitočtů (to je pod oktávou 31,5 Hz) pomocí u nás dostupných, k podobným účelům sériově vyráběných přístrojů, nelze zatím vůbec provádět. Spektrální složení nejnižších kmitočtů naměřených vibrací lze odhadnout jen pomocí určitých přibližných vyhodnocovacích metod. Takto zjednodušeně se vyhodnocovala všechna dřívější měření vibrací ve VÚHU, a tak se také postupuje doposud i v celé ČSSR. Tyto metody jsou pro všeobecný průmysl postačující, protože kmitočtové nejnižší složky vibrací se tam vyskytují jen velmi zřídka.

Na lomech SHR jsou v rámci TC používány velkostroje a dálková pásová doprava. Relativně malé pracovní otáčky strojů, relativně malá rychlost pásů dopravníků a kusovitý charakter dobývaného a přepravovaného materiálu způsobují výskyt sil, vyvolávajících kmitání konstrukcí právě v oblasti nejnižších kmitočtů. A velké rozměry konstrukčních prvků nasazené techniky vytvářejí příznivé podmínky pro šíření vibrací těchto kmitočtů. Proto při sledování vlivu vibrací na pracovní podmín-

ky v poměrech SHR nelze složky chvění v infrazvukové oblasti kmitočtového spektra zanedbávat. Z tohoto důvodu bylo nutno přístrojovému vybavení a metodice měření vibrací v podmínkách SHR věnovat náležitou pozornost. Především bylo třeba vyvinout a vyrobit vhodný přenosný nízkofrekvenční filtr, umožňující oktávovou analýzu vibrací v potřebném pásmu kmitočtů. Tím bylo umožněno při analýze vibrací vyhovět platným hygienickým předpisům přesně a bez výhrad.

Vývoj techniky měření vibrací

Pod pojmem technika měření vibrací se rozumí všechny úkony, které slouží k získání číselných parametrů kmitání hmotných bodů v místě měření. Patří sem tedy vlastní měření (to je snímání) parametrů kmitání, jejich převod na event. jiné (elektrické) veličiny, zpracování těchto veličin (např. elektrická integrace) a přepočet takto získaných výsledků na veličiny vhodné k hodnocení naměřených výsledků a dostatečně přesně popisující měřenou skutečnost. Pod pojmem hodnocení naměřených výsledků se rozumí srovnání naměřených hodnot s hodnotami přípustnými na pracovišti podle směrnice 33 MZd.

Vlastní měření vibrací, tj. volba vhodného místa umístění snímače, způsob připevnění snímače a jeho propojení s ostatní aparaturou, jakož i řada dalších podrobností je jednoznačně stanovena normou ČSN 01 1390 "Měření mechanického kmitání", normami příbuznými a návodem k obsluze zařízení sloužících k tomuto účelu. Všechna měření vibrací byla pracovníky VÚHU prováděna vždy v souladu s těmito platnými normami a dle pokynů výrobce použité měřicí techniky. Tato předepsaná hlediska tedy nepodléhala změně. V souladu se změnami přístrojového vybavení se však postupně vyvíjel výběr parametrů určených k měření a způsob zpracování naměřeného (sejmutého) signálu.

Původní metodika měření vibrací vycházela z toho, že harmonický kmitavý pohyb je jednoznačně určen dvěma parametry, to je amplitudou určující veličiny (výchyly, rychlosti nebo zrychlení) a kmitočtem. Známe-li tedy ze čtyř možných veličin (výchyly, rychlost, zrychlení, kmitočet) libovolné dvě veličiny, můžeme další dvě veličiny poměrně jednoduchým způsobem vypočítat. Pro účely hodnocení naměřených výsledků potřebujeme podle směrnice 33 MZd znát hladinu zrychlení chvění a

frekvenci harmonických kmitů. K získání těchto parametrů stačí základní vybavení přístroji fy Brüel & Kjaer, to je snímač zrychlení chvění, integrátor (umožňující převedení signálu zrychlení na signál úměrný rychlosti či výchylce) a vhodný zvukoměr. Z naměřených údajů o zrychlení a rychlosti chvění se vypočtou parametry potřebné pro hodnocení, tj. kmitočet a hladina zrychlení chvění. To je podstata původní techniky měření vibrací ve VÚHU. Pro usnadnění potřebných výpočtů byl vypracován "diagram pro vztah mezi dráhou, rychlostí a zrychlením kmitavého sinusového pohybu". V diagramu byla vynesena i křivka mezních hodnot podle směrnice 33 MZd, takže tento diagram sloužil nejen ke grafickému výpočtu naměřených parametrů vibrací, ale i k hodnocení výsledků měření.

Tato technika vychází z předpokladů čárového spektra vibrací o jediném kmitočtu (harmonické kmitání). S určitými výhradami je použitelná i v případě spojitého spektra měřených vibrací za předpokladu výrazného maxima v oblasti jediného kmitočtu. Je poměrně jednoduchá. Hodí se zejména k měření jednodušších strojních zařízení s pokud možno jednoznačně definovaným jediným hlavním zdrojem budících sil a s nepřiliš složitou soustavou přenosů a s nevelkým počtem stupňů volnosti. Vzhledem k jednoduchosti a relativně malým nárokům na přístrojové vybavení byla hygienickou službou v průmyslu hojně používána. Je náročná na přesnost měření, protože chyba výsledku je mnohem vyšší, než jsou dílčí chyby jednotlivých odečtů během měření. V případě plochého, více méně rovnoměrného spektra je výsledná chyba velká a metoda se stává nepoužitelnou. Rovněž tak se tato metoda nehodí k měření spekter s výrazným obsahem složek nejnižších kmitočtů, protože integrátor fy Brüel & Kjaer umožňuje měřit rychlosti chvění od 15 Hz výše a výchylku až od 20 Hz (při chybě $\pm 1,5$ dB).

Aby se předešlo chybným závěrům při použití této techniky měření vibrací v podmínkách SHR, bylo měření v terénu doplňováno záznamem signálu zrychlení chvění na komerční magnetofon. V laboratorních podmínkách byl pak tento záznam reprodukován a pomocí úzkopásmového analyzátoru B&K 2107 a zapisovače B&K 2305 byla pořízena spektrální charakteristika naměřeného zrychlení. Byl tak získán alespoň přibližný obraz o charakteru spektrálního složení signálu. I když se neprovádělo

kvantitativní hodnocení získaného záznamu, očekávala se obstojná reprodukovatelnost výsledku s eventuální možností jeho korekce v závislosti na frekvenční charakteristice magnetofonu. Jak však ukázala pozdější praxe, vykazují použité magnetofony Tesla ANP 401 a ANP 221 vlivem kolísání předmagnetizačního proudu špatnou reprodukovatelnost frekvenční charakteristiky. Kromě toho se opotřebováním kombinovaných hlav kvalita záznamů rychle zhoršovala. Z těchto důvodů bylo k podobným, byť i orientačním účelům, od použití komerčních magnetofonů upuštěno.

Později byla technika měření zdokonalena a přiblížena požadavkům hygienických předpisů zavedením oktavové analýzy hladin zrychlení chvění v rozsahu možnosti filtru B&K 1613. Původní metodika byla ponechána jako doplňující pomůcka při hodnocení výsledků měření.

Po obdržení zvukoměru B&K 2204, který je schopen zpracovat nízkofrekvenční složky signálu (od 2 Hz) byla metodika měření doplněna o kontrolu obsahu infrazvukových složek signálu. Kontrola se prováděla porovnáním celkové hladiny zrychlení chvění (měření v poloze "Lin", to je od 2 Hz) s hladinou naměřenou při zařazeném váhovém filtru typu C (tj. cca od 20 Hz). Z rozdílu obou údajů se dalo usuzovat na obsah oktavovým filtrem neanalyzované části spektra. Tato, už dosti podrobná, objektivní analýza smívaných signálů potvrdila nezbytnost doplnění přístrojového vybavení o zařízení umožňující oktavovou analýzu infrazvukové části spektra vibrací naměřeného v podmínkách SHR. Proto byl vývoj takového zařízení ve VÚHU urychlen.

Na přechodnou dobu byl též používán ve VÚHU zkonstruovaný mechanický jazýčkový třetinoctavový kmitoměr pracující v infraoblasti. Umožnil orientační rozbor této objektivně neanalyzované části spektra.

V současné době je možno pomocí aktivního nízkofrekvenčního filtru vyvinutého ve VÚHU a filtru 1613 fy B&K provádět oktavovou analýzu v celém kmitočtovém rozsahu, požadovaném směrnice 33 MZd. Od uvedení tohoto nízkofrekvenčního filtru do provozu je při všech měřeních vibrací pracovníky VÚHU používána jen tato nová objektivní technika měření.

Při měření oktavových spekter vibrací v oblasti nejnižších kmitočtů se ukázalo, že časové konstanty zabudované ve zvukoměrech se k tomuto účelu nehodí. Tyto časové konstanty byly stanoveny a mezinárodní

organizací ISO doporučený k měření hluku. Při měření proměnlivých složek nejnižších kmitočtů vibrací s použitím časové konstanty F nebo S se ručička indikátoru zvukoměru neustále velmi nepravidelně pohybuje ve velkém rozsahu stupnice, takže čtení výsledku je velmi obtížné, zatímco při měření signálu stejného charakteru na vyšším kmitočtu stačí použitá časová konstanta utlumit kývání ručičky a čtení výchylky je bez problémů. Pro zachování stejných podmínek čtení by měla být časová konstanta úměrná době periody měřeného signálu. Za účelem přiblížení se této ideální teoretické podmínce by bylo zapotřebí (při měření hyposonických složek signálu) zvýšit časovou konstantou filtrace stejnosměrného signálu určeného k buzení indikátoru zvukoměru. Provádění zásahu do konstrukce přesného drahého měřicího přístroje světoznámé firmy je však z logického důvodu nevhodné a nežádoucí. Bylo proto rozhodnuto použít druhý indikátor, napájený přes vhodné RC obvody a potřebný stejnosměrný diferenciální zesilovač ze stejnosměrné výstupní zdířky (DC) zvukoměru B&K 2204. Tato úprava, realizovaná ve VÚHU, umožňuje přesnější a pohodlnější čtení výsledků při měření hyposonických ("podzvukových") složek vibrací nebo i hluku (infrazvuku), aniž by bylo nutno provádět zásah do konstrukce, a tím se vystavit nebezpečí ohrožení funkce továrního zvukoměru.

Závěr

Výsledky měření ukazují, že na většině měřených pracovištích jsou maximální přípustné hodnoty vibrací překročeny. Je to způsobeno vysokým obsahem kmitočtově právě nejnižších částí spektra vibrací u velkостrojů a zařízeních DPD. Vzhledem k mechanismu působení vibrací na člověka jsou čs. hygienické předpisy právě v této nízkofrekvenční oblasti nejprísnejší.

Zjištěné závěry svědčí o užitečnosti řešení problému měření nízkofrekvenčních vibrací a ukazují na nutnost věnování maximální pozornosti problematice vibrací i v budoucnosti.

V zájmu objektivity je však nutno zdůraznit, že současná nepřilíš dobrá situace se bude perspektivně měnit příznivým směrem. Byly v tom už učiněny některé nutné kroky.

Při příležitosti řešení problému unifikace ovládání velkостrojů