

mgr inż. MAŁGORZATA REJMAN (ORCID: 0000-0002-2317-3356)

mgr inż. JACEK ZAJĄC (ORCID: 0000-0003-2975-6680)

dr inż. PIOTR KOWALSKI (ORCID: 0000-0003-4066-9967)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: marej@ciop.pl

DOI: 10.5604/01.3001.0014.6644

Ocena modeli elementów obuwia ochronnego wykonanych z materiałów antywibracyjnych – wyniki badań własnych

Fot. Med-Ved Bigstockphoto



Materiały antywibracyjne są od lat z powodzeniem stosowane w środkach ochrony indywidualnej, chroniących organizm przed drganiami przenoszonymi przez kończyny górne. Jednak w przypadku ochron indywidualnych przeznaczonych do redukcji drgań działających na człowieka w sposób ogólny (przenikających przez stopy, miednicę, plecy lub boki) rynek nie oferuje praktycznie żadnych rozwiązań. Jednym ze sposobów ochrony przed drganiami ogólnymi przenoszonymi przez stopy może być obuwie o właściwościach redukujących drgania. Zastosowanie materiałów antywibracyjnych w podpodeszwach bądź wyściółkach takiego obuwia może zmniejszyć transmisję drgań ze źródła do organizmu pracownika.

W artykule przedstawiono opracowaną w CIOP-PIB metodę oceny przenoszenia drgań mechanicznych przez elementy konstrukcyjne podeszwy (podpodeszwy, wyściółki) do zastosowania w obuwie jako ochrony indywidualnej przed drganiami ogólnymi przenoszonymi przez stopy. Omówiono również wyniki przeprowadzonych badań modeli wyściółek/podpodeszew.

Słowa kluczowe: drgania mechaniczne, obuwie ochronne, materiały antywibracyjne

Evaluation of anti-vibration materials for protective footwear – original research results

Anti-vibration materials have been successfully used for years in personal protective equipment to protect the human body against hand-arm vibrations. However, in the case of individual protections dedicated to reduce whole-body vibrations (transmitted through feet, pelvis, back or sides) the market offers practically no solutions. One of the ways to protect against whole-body vibration through feet can be footwear with anti-vibration properties. The use of anti-vibration materials in an insole or insock of such footwear can reduce the transmission of vibrations from a source to employee's body.

The article presents a method (developed in CIOP-PIB) assessing the transmission of mechanical vibrations through the construction elements of a sole (insole, insock) for use in footwear as individual protection against whole-body vibrations transmitted by feet. The results of tests of insole/insock models were also discussed.

Keywords: mechanical vibrations, protective footwear, anti-vibration materials

Wstęp

Drgania mechaniczne, działające na cały organizm pracownika poprzez jego stopy lub przez miednicę, plecy czy boki, nazywane są drganiami ogólnymi (działającymi w sposób ogólny). Skutki zawodowej ekspozycji na tego typu drgania dotyczą zwłaszcza układu kostnego i narządów wewnętrznych człowieka.

W Polsce, według danych GUS dotyczących obszaru tematycznego „Warunki pracy” (2018-2019), zagrożenie drganiami mechanicznymi w środowisku pracy – zarówno tymi działającymi w sposób ogólny, jak i konkretnie przez kończyny górne – w analizowanym przedziale czasu utrzymywało się na stałym poziomie i dotyczyło

ok. 13 tys. osób [1]. Na podstawie tych danych szacuje się, że ok. 30-40% tej populacji jest narażone na drgania o działaniu ogólnym, przenoszone przez stopy pracownika. Ekspozowani są na nie pracownicy obsługujący maszyny i urządzenia, w sytuacjach, w których drgania transmitowane są do ich organizmów przez fundamenty i elemen-

ty sprężyste podparcia, podwieszenia lub podłoże [2,3]. Przykładem takiego narażenia może być np. stanowisko pracy osoby nadzorującej maszyny do przeróbki surowców mineralnych. Na tego typu stanowiskach składowe częstotliwościowe drgań o największych wartościach przyspieszeń znajdują się w przedziale od 14 do 60 Hz [4].

Często jedyną skuteczną formą poprawy warunków pracy jest ograniczenie ekspozycji pracownika na czynniki niebezpieczne i szkodliwe (w tym drgania mechaniczne) w środowisku pracy poprzez zastosowanie środków ochrony indywidualnej (ŚOI) [3,5]. W przypadku drgań przenoszonych przez kończynny górny wykorzystywane są takie środki ochrony, jak rękawice antywibracyjne czy otuliny rękojeści narzędzi ręcznych. Nie są natomiast rozpowszechnione praktycznie żadne rozwiązania w zakresie ŚOI przeznaczonych do redukcji drgań działających na człowieka w sposób ogólny. Na wielu stanowiskach pracy konieczne jest stosowanie ochron kończyn dolnych, zwłaszcza stóp. Normy i przepisy prawne dotyczące ŚOI nie zawierają jednak informacji odnoszących się do stosowania obuwia ochronnego chroniącego przed drganiami mechanicznymi, a co za tym idzie nie ma w nich wymagań dotyczących właściwości antywibracyjnych takiego obuwia [6,7].

W Polsce prace naukowe w zakresie stosowania lub projektowania obuwia ochronnego przed drganiami mechanicznymi przenoszonymi przez stopy prowadzone były w bardzo ograniczonym zakresie, kilkadziesiąt lat temu, gdy technologie wytwarzania nie były rozwinięte w takim stopniu jak obecnie. Dziś coraz częściej elementy tłumiące drgania (głównie uderowe) wykorzystywane są w obuwiu sportowym. Modele tego typu obuwia są przeznaczone do konkretnej aktywności fizycznej, na przykład biegania, wspinaczki, jazdy na nartach lub trekkingu [8-10].

Autorzy artykułu dostrzegli perspektywę wykorzystania w obuwiu ochronnym elementów o właściwościach ograniczających transmisję drgań ogólnych działających przez stopy. Materiały antywibracyjne, zastosowane np. jako wyściółki czy podpodeszwy w obuwiu, mogą zmniejszyć transmisję drgań ze źródła do organizmu pracownika.

Celem artykułu jest przedstawienie opracowanej w CIOP-PIB metody oraz wyników badań i oceny przenoszenia drgań mechanicznych przez elementy konstrukcyjne podszew (podpodeszew, wyściółek), wykonanych z materiałów przeznaczonych do zastosowania w ŚOI chroniących przed drganiami ogólnymi przenoszonymi przez stopy.

Obuwie ochronne, zgodnie z definicją zawartą w PN-EN ISO 20346:2014-08, przeznaczone jest do ochrony użytkownika przed urazami, które mogłyby powstać podczas wypadków [11]. W związku z tym jest wyposażone w podnoski, które projektuje się w taki sposób, aby zapewniły ochronę przed uderzeniem (podczas badania) z energią równą co najmniej 100 J i przed ścisaniem pod obciążeniem ścisającym równym co najmniej 10 kN.

Norma dotycząca obuwia o cechach ochronnych zawiera zestaw podstawowych wymagań

w stosunku do wszystkich elementów obuwia [11]. W odniesieniu do projektowania podpodeszew lub wyściółek jednym z takich wymagań jest grubość – nie powinna być ona mniejsza niż 2 mm.

Metoda badań eksperymentalnych

Badania eksperymentalne przeprowadzone w CIOP-PIB polegały na wyznaczeniu charakterystyk częstotliwościowych przenoszenia drgań modeli wyściółek/podpodeszew przeznaczonych do zastosowania w obuwiu. W celu odzwierciedlenia rzeczywistych warunków, w jakich ma być wykorzystywany badany element, podczas badań osoba testująca znajdowała się na platformie testowej i stała na badanych kolejno modelach.

W trakcie badań dokonywany był jednoczesny pomiar przyspieszenia drgań na stole wzbudnika oraz przyspieszenia drgań na powierzchni stopy osoby testującej (w miejscu kości klinowatej pośredniej w części stępu) w zakresie częstotliwości drgań o działaniu ogólnym: 0,9-80 Hz. Elementem stanowiska laboratoryjnego pozwalającym na pomiar przyspieszenia drgań mechanicznych na powierzchni stopy osoby testującej był przetwornik laserowy.

Badania prowadzono w 2 seriach: pierwszej – bez zastosowania wyściółki/podpodeszwy oraz drugiej – po ich zastosowaniu. Na podstawie wykonanych pomiarów przyspieszeń drgań wyznaczano charakterystyki częstotliwościowe dla badanych modeli wyściółek/podpodeszew. W celu wyznaczenia przenoszenia drgań T przez zastosowane modele wyściółek/podpodeszew charakterystyki częstotliwościowe wyznaczone w pierwszej serii odniesiono do tych z serii drugiej. W badaniach wzięto udział 9 osób testujących.




Do oceny skuteczności redukcji drgań mechanicznych przez opracowane modele wyściółek/podpodeszew opracowano kryteria przedstawione w tab. 1. Kryteria oceny oparto na skorygowanej charakterystyce przenoszenia drgań $T(f)$, wykorzystanej do wyznaczenia zakresów częstotliwości, w których zaobserwowano dużą lub zadowalającą skuteczność tłumienia bądź wzmożenie drgań.

$$T_{ef}f = \frac{H2_{ef}}{H1_{ef}} \quad \text{gdzie:} \quad [1]$$

$H1(f)$ – przenoszenie drgań wyznaczone podczas pomiarów przed zastosowaniem wyściółki/podpodeszwy

$H2(f)$ – przenoszenie drgań wyznaczone podczas pomiarów po zastosowaniu wyściółki/podpodeszwy

Tabela 1. Kryteria oceny skorygowanego przenoszenia drgań
Table 1. The evaluation criteria of the corrected vibration transmission coefficient

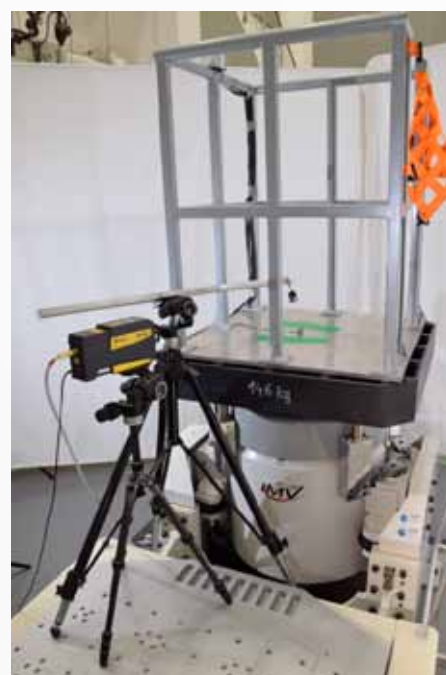
	Tłumienie drgań duże	Tłumienie drgań zadowalające	Wzmocnienie drgań
Zakres	$0 < T \leq 0,6$	$0,6 < T \leq 1$	$T > 1$
Oznaczenie kolorystyczne			

Wyniki pomiarów charakterystyk częstotliwościowych przenoszenia drgań przez zastosowane wyściółki/podpodeszwy odniesione do kryteriów oceny są podstawą do oceny przydatności elementów konstrukcyjnych podszewy jako ochrony przed drganiami mechanicznymi na stanowiskach pracy.

Stanowisko badawcze

Do realizacji badań przenoszenia drgań przez modele wyściółek/podpodeszew z udziałem osób testujących służyło laboratoryjne stanowisko badawcze wykorzystujące system generacji drgań mechanicznych, składający się ze wzbudnika drgań ze wzmacniaczem mocy, laserowego przetwornika drgań oraz sterownika, będących wyposażeniem Pracowni Drgań Mechanicznych CIOP-PIB.

Stanowisko umożliwiło symulację sygnału drganiowego o kształtowanych zmiennych charakterystykach częstotliwościowo-amplitudowych. Zakres częstotliwości generowanych sygnałów obejmował zakres drgań ogólnych: 0,9-80 Hz. Stanowisko przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Stanowisko do badań przenoszenia drgań przez wyściółki oraz podpodeszwy, przeznaczone do zastosowania w obuwiu ochronnym: 1 – wzbudnik drgań, 2 – laserowy przetwornik drgań, 3 – piezoelektryczny przetwornik drgań, 4 – barierka ochronna, 5 – stół wibracyjny

Fig. 1. View of the test stand for testing the transmission of vibrations through footwear: 1 – vibration shaker, 2 – laser vibration transducer, 3 – vibration transducer, 4 – protective barrier, 5 – measuring table

Obiekty badań

W celach badawczych wykonano 6 modeli podszew/wyściótek (rys. 2.) przeznaczonych do zastosowania w obuwiu ochronnym. Elementy te wytworzono m.in. z kauczków syntetycznych, pianki polietylenowej oraz z elastomeru termoplastycznego jako wydruk w technologii druku 3D. Podszewy/wyściółki spełniały wymagania normy ISO 20346 dotyczące grubości [11]. Szczegółowe informacje o grubości, masie oraz twardości w skali Shore'a wraz z charakterystyką materiału, z którego został wykonany model, przedstawiono w tab. 2.



Rys. 2. Wykonane modele wyściótek/podszew
Fig. 2. Insole or insock models

Wyniki badań

Na podstawie zarejestrowanych przyspieszeń drgań wyznaczono charakterystyki częstotliwościowe przenoszenia drgań mechanicznych przez wykonane modele wyściótek/podszew, a także zakresy częstotliwości, w których zaobserwowano duże lub zadowalające tłumienie bądź wzmocnienie drgań (ocena wg kryteriów z tab. 1).

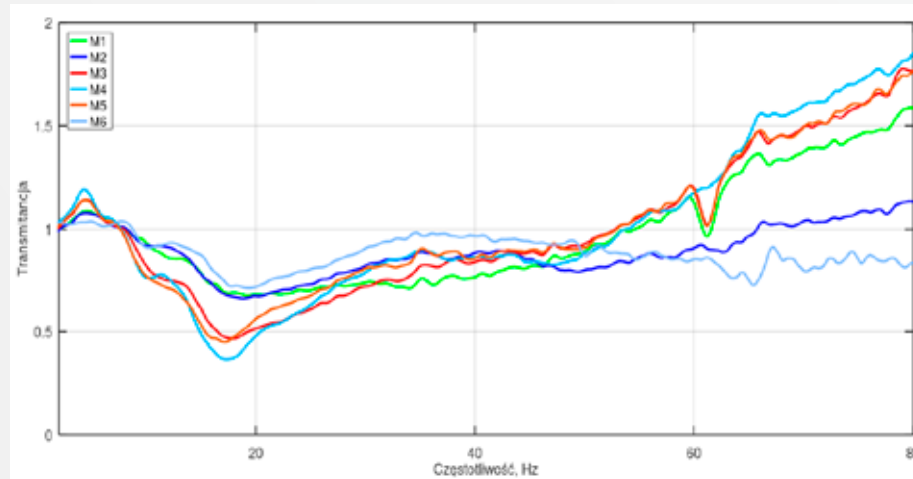
Na rys. 3. pokazano przykładowe charakterystyki częstotliwościowe przenoszenia drgań mechanicznych, wyznaczone podczas badań z udziałem jednej osoby testującej modele wyściótek/podszew.

Na rys. 4.-9. przedstawiono wyodrębnione zakresy częstotliwości tłumienia i wzmocnienia drgań, uzyskane w trakcie badań z udziałem wszystkich uczestników testujących 6 opracowanych modeli wyściótek/podszew. Kolorem zielonym oznaczono duże tłumienie drgań, kolorem żółtym – tłumienie zadowalające, a wzmocnienie drgań – kolorem czerwonym.

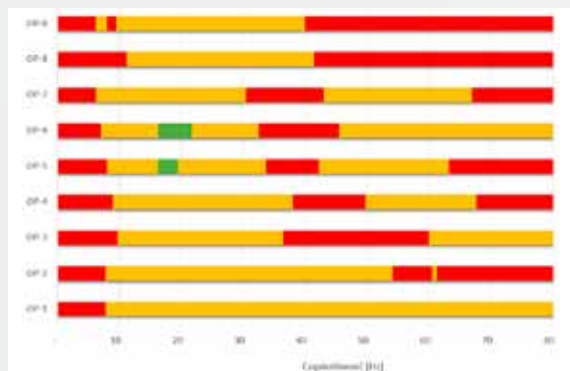
Tabela 2. Charakterystyk wykonanych modeli wyściótek/podszew
Table 2. Characteristics of insole/insock models made for testing

Lp.	Oznaczenie modelu	Charakterystyka materiału, z którego wykonano podszewy/wyściółki	Grubość [mm]	Masa pojedynczego modelu [g]	Twardość w skali Shore'a
1	2	3	4	5	6
1.	M1	EPDM + SBR o strukturze zamkniętej	6	13,5	41,2 [skala 00]
2.	M2	NEOPREN CR o strukturze zamkniętej	6	17,5	47,8 [skala 00]
3.	M3	kauczuk akrylonitrylo-butadienowy, struktura komórkowa zamknięta	6	9,0	31,1 [skala 00]
4.	M4	kauczuk akrylonitrylo-butadienowy	12	19,5	34,7 [skala 00]
5.	M5	pianka polietylenowa	10	5,0	35,8 [skala 00]
6.	M6	wydruk w technologii druku 3D z elastomeru termoplastycznego, wypełnienie 20% krzywymi Hilberta	6	67,0	20 [skala D]

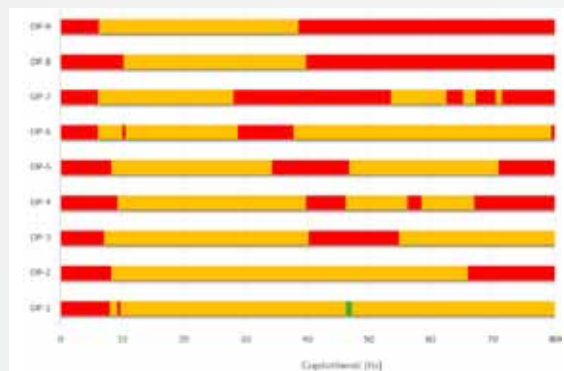
Na rys. 3. pokazano przykładowe charakterystyki częstotliwościowe przenoszenia drgań mechanicznych, wyznaczone podczas badań z udziałem jednej osoby testującej modele wyściótek/podszew.



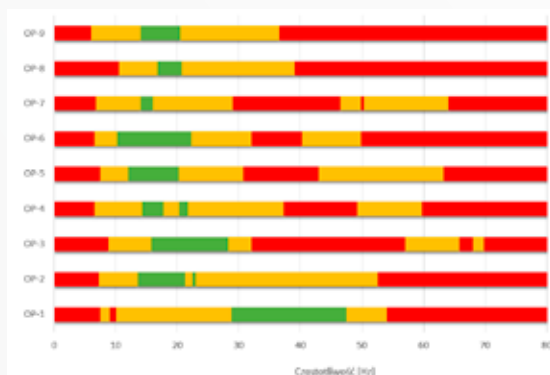
Rys. 3. Charakterystyka częstotliwościowa przenoszenia drgań mechanicznych przez 6 modeli wyściótek/podszew wyznaczona podczas badań z udziałem osoby testującej OP-2
Fig. 3. Frequency characteristics of vibration transmission of 6 insole or insock models for the OP-2 test subject



Rys. 4. Zakresy częstotliwości tłumienia w odniesieniu do modelu wyściółki/podszewy M1
Fig. 4. Attenuation frequency ranges for insole or insock model M1



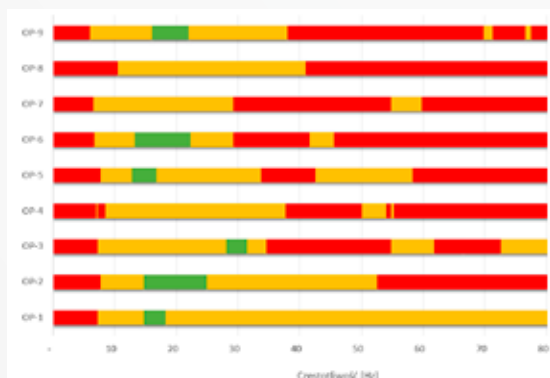
Rys. 5. Zakresy częstotliwości tłumienia w odniesieniu do modelu wyściółki/podszewy M2
Fig. 5. Attenuation frequency ranges for insole or insock model M2



Rys. 6. Zakresy częstotliwości tłumienia w odniesieniu do modelu wyściółki/podpodeszwy M3

Rys. 6. Zakresy częstotliwości tłumienia w odniesieniu do modelu wyściółki/podpodeszwy M3

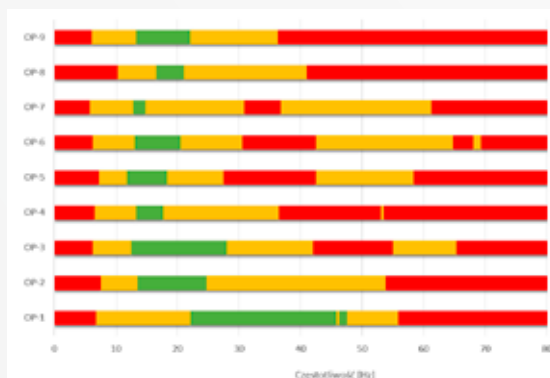
Fig. 6. Attenuation frequency ranges for insole or insock model M3



Rys. 7. Zakresy częstotliwości tłumienia w odniesieniu do modelu wyściółki/podpodeszwy M4

Rys. 7. Zakresy częstotliwości tłumienia w odniesieniu do modelu wyściółki/podpodeszwy M4

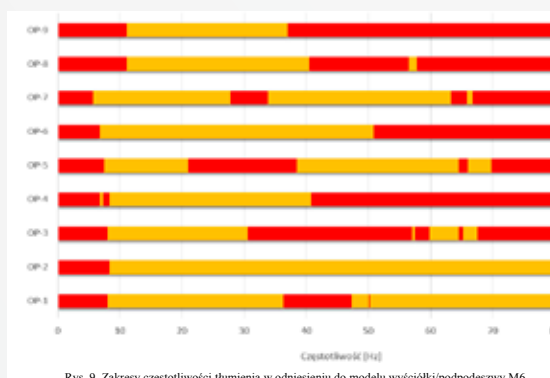
Fig. 7. Attenuation frequency ranges for insole or insock model M4



Rys. 8. Zakresy częstotliwości tłumienia w odniesieniu do modelu wyściółki/podpodeszwy M5

Rys. 8. Zakresy częstotliwości tłumienia w odniesieniu do modelu wyściółki/podpodeszwy M5

Fig. 8. Attenuation frequency ranges for insole or insock model M5



Rys. 9. Zakresy częstotliwości tłumienia w odniesieniu do modelu wyściółki/podpodeszwy M6

Rys. 9. Zakresy częstotliwości tłumienia w odniesieniu do modelu wyściółki/podpodeszwy M6

Fig. 9. Attenuation frequency ranges for insole or insock model M6

Podczas analizy wyników badań wszystkich modeli wyściółek/podpodeszew (rys. 4.-9.) oceniono ich właściwości tłumienia drgań w zakresie częstotliwości od 0,9 do 80 Hz. Największe tłumienie drgań przez zbadane modele wyściółek/podpodeszew zarejestrowano przy częstotliwości ok. 17 Hz. Wyściółki/podpodeszwy: M1, M3, M4 oraz M5 wykazały właściwości wzmacniające drgania mechaniczne dopiero w zakresie częstotliwości od ok. 50 do 80 Hz. Z kolei wzmocnienie drgań w odniesieniu do modelu wyściółki/podpodeszwy M2 stwierdzono od częstotliwości ok. 65 Hz. W przypadku modelu M6 w zakresie od 9 do 80 Hz zaobserwowano zadowalające tłumienie drgań. W zakresie częstotliwości 12-22 Hz dla wszystkich modeli wyściółek/podpodeszew było zadowalające lub duże.

Przykładowo, analiza charakterystyk przenoszenia drgań przez model wyściółki/podpodeszwy M3 pozwoliła stwierdzić jego dobre właściwości tłumienia drgań w zakresie częstotliwości od ok. 12 do 28 Hz podczas badań z udziałem wszystkich osób testujących (rys. 4.). Dodatkowo oznacza to, że wyniki uzyskane za pomocą zastosowanej metody badań są wiarygodne w odniesieniu do osób testujących o zróżnicowanej masie i budowie ciała. Wyniki analizy charakterystyk częstotliwościowych przenoszenia drgań przez wszystkie opracowane modele wkładek, uzyskane podczas badań z udziałem kolejnych osób testujących, wykazały podobne trendy zmian.

Podsumowanie

Zastosowanie praktyczne opracowanych modeli wyściółek/podpodeszew do obuwia w celu ograniczenia ekspozycji pracownika na drgania ogólne wydaje się uzasadnione w przypadku stanowisk pracy związanych z urządzeniami, których dominujące częstotliwości pracy zawierają się w zakresie ok. 12-22 Hz. Przykładem może być stanowisko pracy osoby nadzorującej kruszarkę szcękową w zakładach przeróbki surowców mineralnych, w przypadku której największa składowa drgań występuje przy częstotliwości ok. 15 Hz (a więc charakteryzujące się występowaniem drgań o rozpatrywanych w artykule parametrach). Uzyskane wyniki badań wskazują na możliwość zastosowania wkładek/podpodeszew także w szerszym zakresie częstotliwości, po modyfikacji ich konstrukcji. Możliwy byłby także ich dobór do konkretnych stanowisk pracy.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Warunki pracy w 2018 r. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, Gdańsk 2019.
- [2] ENGEL, Z., ZAWIESKA, W.M. Hałas i drgania w procesach pracy: źródła,

ocena, zagrożenia [Noise and vibration in work processes. Sources, assessment, threat]. CIOP-PIB, Warszawa 2010.

[3] KORADECKA, D. (red.) Bezpieczeństwo pracy i ergonomia [Work safety and ergonomics]. Tom 1, CIOP, Warszawa 1999.

[4] KORADECKA, D. Środki ochrony indywidualnej stosowane w miejscu pracy [Use of Personal Protective Equipment in the Workplace]. Handbook of Human Factors and Ergonomics; Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2012.

[5] ZAJĄC, J., KOWALSKI, P., REJMAN, M. Analiza narażenia na drgania ogólne na stanowiskach pracy związanych z przeróbką surowców mineralnych oraz zalecenia do profilaktyki [Analysis of exposure to whole-body vibration at work stations related to the processing of mineral resources and recommendations for prevention]. CIOP-PIB, Warszawa 2019 [materiał na stronie www.ciop.pl].

[6] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/425 z dnia 9 marca 2016 r. w sprawie środków ochrony indywidualnej oraz uchylenia dyrektywy Rady 89/686/EWG.

[7] Dyrektywa 2002/44/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (wibracji) (szesnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG).

[8] BELLI, N. Vibration absorbing device, particularly for shoes or sports implements. U.S. Patent Application No 09/757,591, 2001.

[9] BRESSOUX B., CRETINON F., BEGEY J.M. Boot with anti-vibration bottom assembly. U.S. Patent Application No 09/516,933, 2002.

[10] OPALSKA, A., HADUCH, M., GAŚIORSKI, K.P. Badanie sprężystości tworzyw mikrokomórkowych EVA przeznaczonych na elementy spodowe do obuwia. Technologia i Jakość Wyróbów 2017, 62.

[11] Norma PN-EN ISO 20346:2014-08 Środki ochrony indywidualnej. Obuwie ochronne.

Publikacja opracowana w ramach realizacji zadania badawczego z działalności statutowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego, finansowanej w latach 2018-2020 ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.