

Zagrożenie drganiami mechanicznymi użytkowników pojazdów jednośladowych – wyniki badań własnych

Fot. Konstantin Sutyagin/Bigstockphoto



W artykule przedstawiono wyniki badań drgań mechanicznych działających na kierowców wybranych pojazdów jednośladowych. Wyznaczone dzienne ekspozycje na drgania działające przez kończyny górne oraz w sposób ogólny pozwalają na wstępne rozpoznanie narażenia na drgania mechaniczne pracowników wykorzystujących tego typu pojazdy. Wynik przeprowadzonych badań wykazały, że użytkowanie zawodowe pojazdów jednośladowych może wywoływać duże narażenie kierowców zarówno na drgania działające przez kończyny górne, jak i na drgania działające w sposób ogólny. Narażenie na drgania kierowców jednośladowych bardzo zależy m.in. od rodzaju i konstrukcji użytkowanego pojazdu, rodzaju nawierzchni jezdni i prędkości jazdy.

Hazard of mechanical vibration acting on riders of selected single-track vehicles – original research
This paper presents results of tests of mechanical vibration acting on riders of selected single-track vehicles. The obtained daily exposure values of hand-arm and whole-body vibration allow preliminary recognition of the mechanical vibration hazard experienced by workers who use such vehicles. The results of tests indicate that occupational use of single-track vehicles may cause high exposure of the riders to hand-arm and whole-body vibration. The exposure of a rider of a single-track vehicle strongly depends on the type and design of the vehicle, type of road surface and speed.

Wstęp

Zwiększające się nieustannie natężenie ruchu drogowego przyczyniło się do wzrostu zainteresowania pojazdami jednośladowymi, które na jezdni wymagają znacznie mniej miejsca od samochodów, przez co umożliwiają łatwiejsze i szybsze poruszanie się po zatłoczonych ulicach i drogach, a także parkowanie. Często także pozwalają na docieranie do miejsc niedostępnych dla innych pojazdów. Te cechy jednośladowych wykorzystywanych od wielu lat m.in. przez policję i wojsko, stają się coraz atrakcyjniejsze nie tylko w rekreacji i turystyce, ale także w szeroko pojętym środowisku pracy. Z jednośladowych (zarówno motocykli, jak i rowerów) korzystają m.in. pracownicy poczty i firm kurierskich, dostawcy fast food'ów, służby porządkowe czy chociażby ratownicy medyczni.

Wraz ze wzrostem liczby jednośladowych wykorzystywanych zawodowo rośnie także liczba pracowników narażonych na czynniki związane z ich użytkowaniem (m.in. hałas, szkodliwe sub-

stancje chemiczne, mikroklimat zimny i gorący). Należą do nich również drgania mechaniczne działające na ręce kierowców przez kierownice (drgania miejscowe) oraz przenoszone na cały organizm przez siodełko/siedzisko i podnóżki (drgania ogólne). Ze względu na specyfikę tych środków transportu utrudnione jest prowadzenie na nich standardowych pomiarów drgań – dlatego zagrożenie drganiami mechanicznymi na stanowiskach pracy związanych z użytkowaniem pojazdów jednośladowych nie jest dostatecznie rozpoznane.

Dotychczas prowadzone badania wpływu działania drgań na organizm kierowcy pojazdu jednośladowego obejmowały zarówno skutki funkcjonalne, jak i fizjologiczne [1, 2, 3]. Shivakumara i Sridhar w swoich pracach wykazują, że drgania działające na motocyklistów mogą wywołać problemy kardiologiczne [4]. Zaobserwowano, że na zmiany rytmu pracy serca większy wpływ mają drgania działające przez ręce kierowcy HAV (*Hand-Arm Vibration*), niż drgania

działające w sposób ogólny WBV (*Whole-Body Vibration*). Z innych badań wynika, że transmisja drgań na drodze siedzisko-głowa jest większa, gdy siedzisko nie ma oparcia. Stwierdzono w nich, że oparcie kontaktowe i warunki postawy nie powinny być pomijane w ocenie ryzyka dla zdrowia spowodowanego przez drgania działające w sposób ogólny [5].

Tominaga przeprowadził badania dotyczące narażenia na drgania listonoszy korzystających z motocykli [6]. Wyznaczał korelację pomiędzy ekspozycją na drgania i zimno, a objawami tzw. choroby białych palców – postaci naczyniowej zespołu wibracyjnego. Stwierdził, że ekspozycje o wartości większej niż 2 m/s^2 wywoływały znacznie częstsze występowanie objawów tej choroby, niż w innych grupach zawodowych.

W Polsce nie prowadzono dotychczas badań pojazdów jednośladowych pod kątem zagrożenia drganiami kierowców. Podjęto je jednak w ostatnich latach w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym,

a przedstawione w tym artykule wyniki pomiarów i oceny pozwalają na wstępne rozpoznanie opisywanego narażenia.

Metoda badań

Zastosowana przez autorów metoda badań opiera się na pomiarze przyspieszeń drgań na kierownicy oraz na siedzisku pojazdu jednośladowego. Przyspieszenia rejestrowane są w trzech kierunkach pomiarowych (x, y, z). Na ich podstawie obliczana jest dzienna ekspozycja na drgania [7, 8]. W przypadku drgań działających przez kończyny górne opisuje ją następująca zależność:

$$A(8)_{HA} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 \cdot T_i}$$

gdzie:

$$a_{hvi} = \sqrt{a_{hwxi}^2 + a_{hwyi}^2 + a_{hwzi}^2}$$

a_{hw} – skorygowana częstotliwościowo skuteczna wartość sumy wektorowej przyspieszenia drgań określona dla przedziału czasu T_i

$a_{hwxi}, a_{hwyi}, a_{hwzi}$ – skorygowane częstotliwościowo, skuteczne wartości przyspieszenia drgań w kierunkach x, y, z, określone dla przedziału czasu T_i

T_0 – czas odniesienia równy 8h (480 min = 28800 s).

Dzienna ekspozycja na drgania o działaniu ogólnym [9] jest wyznaczana z zależności:

$$A(8)_{WB} = k_l \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^n a_{wli}^2 \cdot T_i}$$

w której:

a_{wli} – skorygowana częstotliwościowo skuteczna wartość przyspieszenia drgań w kierunku l określona dla przedziału czasu T_i

l – kierunek x, y lub z

$k_x = k_y = 1,4$ dla kierunków x i y; $k_z = 1$ dla kierunku z

T_0 – czas odniesienia równy 8h (480 min = 28800 s).

Obiekty badań

Do badań zostały wybrane pojazdy reprezentujące najbardziej popularne rodzaje jednośladów:

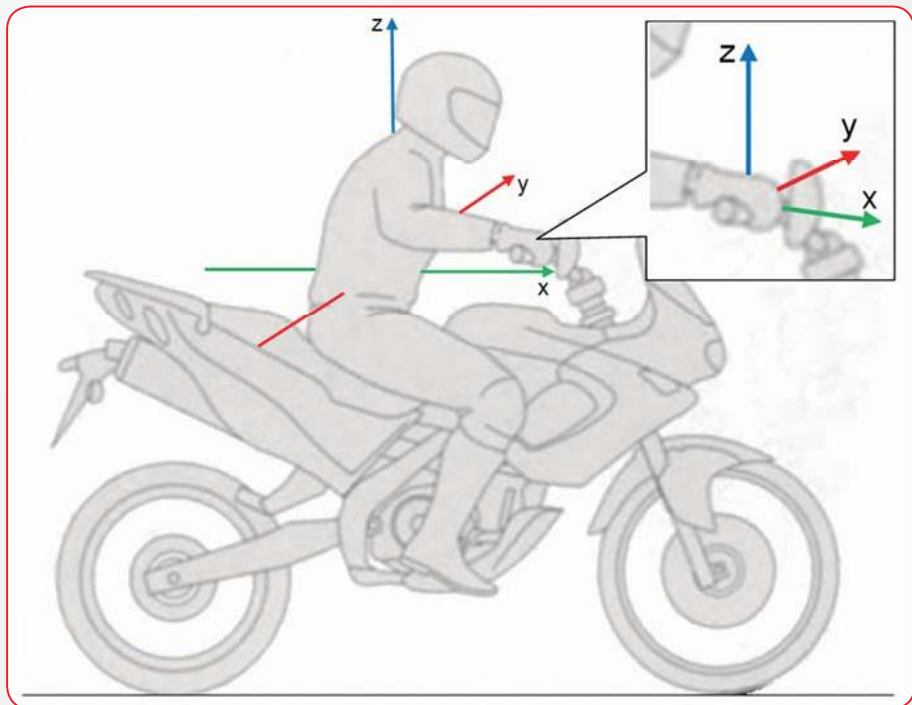
- rower górski (rower 1.); przednia i tylna amortyzacja (full-suspension); średnica kół: 26"; opony typu terenowego
- rower górski (rower 2.); bez amortyzacji (rigida); średnica kół: 26"; opony typu terenowego
- skuter TOROS G2 typ F2; pojemność silnika: 50 cm³; moc silnika: 1,90 kW; rok produkcji: 2011
- skuter Honda Vision 50, typ AF72 WS; pojemność silnika: 49 cm³; moc silnika: 2,50 kW; rok produkcji: 2012
- motocykl Honda, typ CBF 250; pojemność silnika: 249 cm³; moc silnika: 15 kW; rok produkcji: 2004
- motocykl Suzuki WVCY, typ GSX-R1000; pojemność silnika: 999 cm³; moc silnika: 136,10 kW; rok produkcji: 2009.

Warunki badań

Wszystkie pomiary zostały przeprowadzone w zbliżonych warunkach pogodowych, w terenie płaskim, przy wybranych (dla poszczególnych pojazdów) typowych prędkościach jazdy:

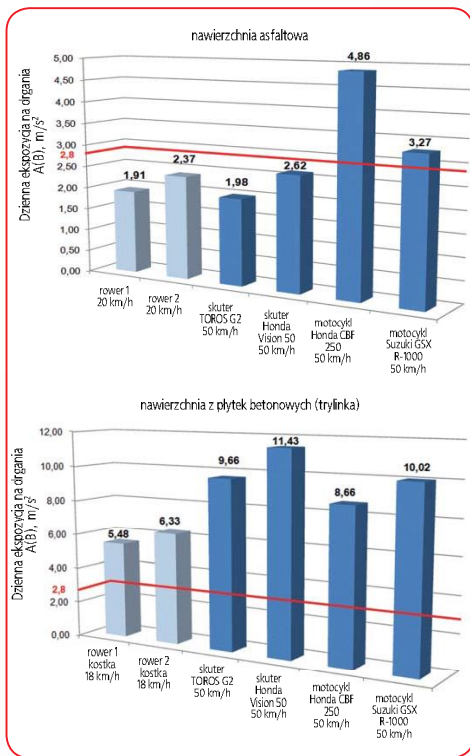
- w odniesieniu do rowerów: 20 km/h po nawierzchni asfaltowej, 18 km/h po nawierzchni z kostki Bauma
- w odniesieniu do skuterów: 50 km/h (60 km/h) po nawierzchni asfaltowej, 40 km/h po nawierzchni z trylinki
- w odniesieniu do motocykli: 50 km/h, 70 km/h (jazda w terenie zabudowanym) po nawierzchni asfaltowej; 90 km/h, 140 km/h (jazda w terenie niezabudowanym) po nawierzchni asfaltowej; 40 km/h po nawierzchni z trylinki.

Na rys. 1. przedstawiono kierunki pomiarowe przyspieszeń drgań rejestrowanych na siedzisku i kierownicy pojazdu jednośladowego.



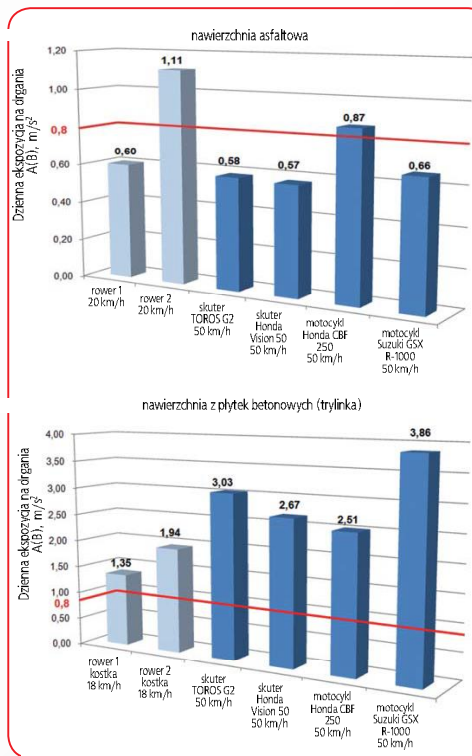
Rys. 1. Kierunki pomiarowe przyspieszeń drgań rejestrowanych na siedzisku i na kierownicy pojazdu jednośladowego
Fig. 1. Measurement directions for vibration accelerations recorded on the seat and the handlebar of a single-track vehicle





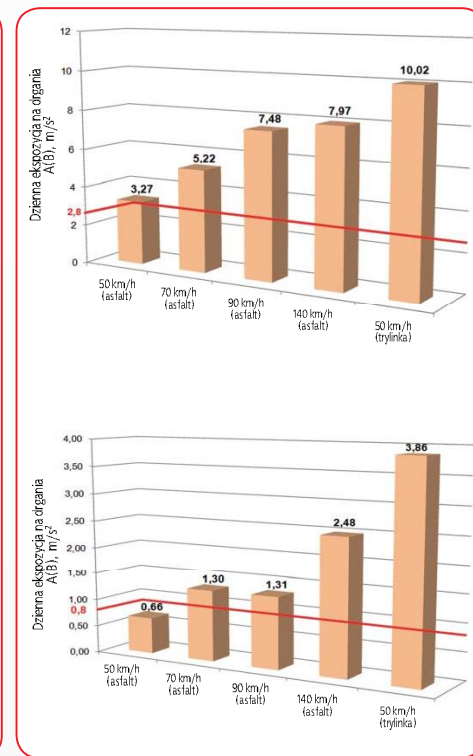
Rys. 2. Dzielne ekspozycje na drgania miejscowe kierowców badanych pojazdów podczas jazdy po nawierzchni asfaltowej i nawierzchni z płytek betonowych (trylinki)

Fig. 2. Daily exposure to riders of tested vehicles to hand-arm vibration while riding on asphalt, and on hexagonal concrete slabs



Rys. 3. Dzielne ekspozycje na drgania ogólne kierowców badanych pojazdów podczas jazdy po nawierzchni asfaltowej i nawierzchni z płytek betonowych (trylinki)

Fig. 3. Daily exposure to riders of tested vehicles to whole-body vibration while riding on asphalt, and on hexagonal concrete slabs



Rys. 4. Dzielne ekspozycje na drgania miejscowe i ogólne wyznaczone dla kierowcy motocykla Suzuki GSX R-1000

Fig. 4. Daily exposure to hand-arm and whole-body vibration of a rider of a Suzuki GSX R-1000 motorcycle

Wyniki badań

Zarejestrowane wartości przyspieszeń drgań posłużyły do wyznaczenia dziennych ekspozycji na drgania kierowców testowanych jednośladów. Przyjęto, że czas narażenia na drgania jest równy czasowi użytkowania jednośladu w ciągu doby i wynosi 480 min (8 godzin). Na kolejnych rysunkach przedstawiono porównania przykładowych wyników obliczeń dziennych ekspozycji na drgania dla badanych pojazdów.

Ekspozycja na drgania a rodzaj nawierzchni

Rys. 2. przedstawia wartości dziennych ekspozycji kierowców na drgania działające przez kończyny górne, podczas jazdy badanymi pojazdami z prędkością 50 km/h (rowery 20 km/h) po nawierzchni asfaltowej i nawierzchni z płytek betonowych (rowery, kostka Bauma).

W odniesieniu do wartości dopuszczalnej 2,8 m/s² (czerwona linia na rys. 2.), można zauważyć przekroczenia wartości dziennej ekspozycji kierowców podczas jazdy badanymi motocyklami po nawierzchni asfaltowej. Podczas jazdy po nawierzchni z betonowych płytek – trylinek lub po kostce Bauma (w przypadku rowerów) – wartość dziennej ekspozycji przekroczyła wartość dopuszczalną podczas jazdy każdym z badanych pojazdów.

Na rys. 3. zostały przedstawione wartości dziennych ekspozycji kierowców na drgania

ogólne wyznaczone w tych samych warunkach pomiarowych.

Podczas jazdy po nawierzchni asfaltowej wartość dopuszczalna dziennej ekspozycji na drgania ogólne (0,8 m/s² – czerwona linia na rys. 3.) została przekroczona w przypadku kierowcy roweru bez wibroizolacji oraz kierowcy motocykla Honda CBF 250; podczas jazdy po trylince (lub kostce) ekspozycje kierowców wszystkich badanych pojazdów były większe od wartości dopuszczalnej.

W porównaniu z jazdą po nawierzchni asfaltowej jazda po nawierzchni z płytek betonowych wywołuje spodziewane zwiększenie wartości dziennej ekspozycji zarówno na drgania miejscowe, jak i ogólne. Na uwagę zasługuje fakt, że wzrost wartości ekspozycji w niektórych przypadkach jest nawet 5-krotnie.

Ekspozycja na drgania a prędkość jazdy

Wpływ prędkości jazdy oraz rodzaju nawierzchni na wartość dziennej ekspozycji na drgania miejscowe i ogólne kierowcy przykładowego testowanego pojazdu (motocykla Suzuki GSX R-1000) przedstawia rys. 4.

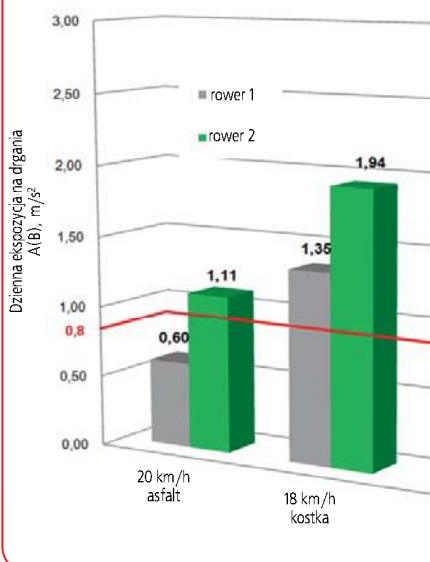
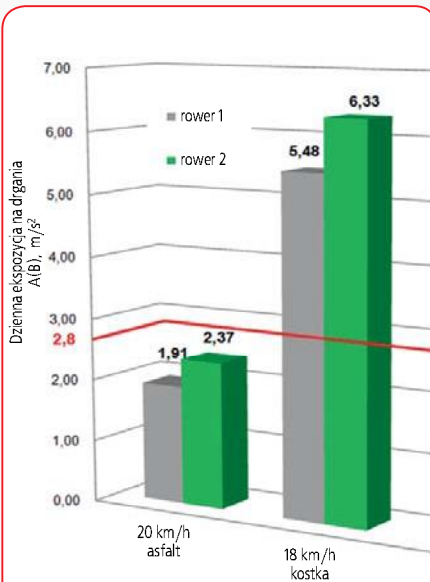
Zwiększanie prędkości jazdy badanym motocyklem po asfalcie wywołało wzrost wartości dziennej ekspozycji na drgania miejscowe działające na kierowcę. W przypadku drgań ogólnych zwiększanie prędkości jazdy z 70 do 90 km/h nie powoduje wzrostu wartości dziennej ekspozycji, przekracza ona jednak wartość dopuszczalną. Dalsze zwiększenie prędkości do 140 km/h powoduje prawie dwukrotne zwiększenie wartości dziennej ekspozycji, która wtedy przekracza wartość dopuszczalną blisko 3-krotnie.

Ekspozycja na drgania rowerzysty a wibroizolacja

Porównując wyniki testów uzyskane podczas jazdy rowerami można ocenić nie tylko narażenie na drgania rowerzystów biorących udział w badaniach, ale także skuteczność wibroizolatorów zastosowanych w jednym z rowerów.

Dzielne ekspozycje rowerzystów zarówno na drgania miejscowe, jak i ogólne osiągają wyraźnie większe wartości przy jeździe po nawierzchni z kostki Bauma, niż przy jeździe po nawierzchni asfaltowej, przekraczając wartości dopuszczalne. Podczas jazdy po nawierzchni asfaltowej wartość dopuszczalna została przekroczona tylko w przypadku drgań ogólnych zarejestrowanych w stosunku do rowerzysty poruszającego się na rowerze bez wibroizolacji.

Wibroizolatory zastosowane w rowerze 1. pozwalają na zmniejszenie ekspozycji rowerzysty na drgania miejscowe o ok. 13-19%, a ekspozycji na drgania ogólne o ok. 30-46%, co świadczy o ich dobrej skuteczności. Dzięki temu, w przypadku jazdy po asfalcie, dzienna ekspozycja rowerzysty poruszającego się na rowerze 1. nie przekracza wartości dopuszczalnej w odróżnieniu od dziennej ekspozycji rowerzysty

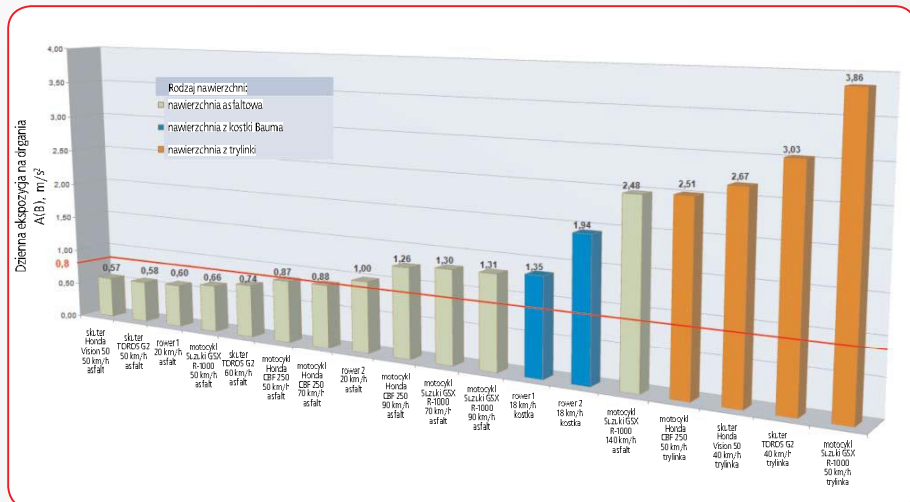


Rys. 5. Wartości dziennej ekspozycji na drgania działające przez kończyny górne i w sposób ogólny, wyznaczone dla rowerzystów poruszających się z prędkością 20 km/h po nawierzchni asfaltowej oraz z prędkością 18 km/h po nawierzchni z kostki Bauma (rower 1. – z wibroizolowanym widelcem i ramą full-suspension, rower 2. – bez wibroizolacji rigid)

Fig. 5. Values of hand-arm and whole-body vibration of bicycle riders at 20 km/h on asphalt, and at 18 km/h on a concrete paved surface (bicycle 1: full-suspension, bicycle 2: rigid)

poruszającego się na rowerze 2. (bez wibroizolatorów), która ją przekracza 1,4-krotnie.

Na rys. 6. zestawiono wartości dziennej ekspozycji na drgania ogólne kierowców badanych pojazdów w różnych warunkach pomiarowych. Uszerzeganie wartości od najmniejszej do największej pozwala na określenie pojazdu i warunków, w których występuje najmniejsze i największe narażenie na drgania kierowcy.



Rys. 6. Wartości dziennej ekspozycji na drgania ogólne kierowców badanych pojazdów
Fig. 6. Values of maximum whole-body exposure for tested vehicles

Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że narażenie kierowców na drgania jednośladow jest bardzo uzależnione m. in. od rodzaju i konstrukcji użytkowanego pojazdu, rodzaju nawierzchni jezdni i prędkości jazdy.

Niezależnie od rodzaju jednośladow, jazda z taką samą prędkością po nawierzchni z trylinki/kostki Bauma powoduje większe wartości ekspozycji kierowcy na drgania zarówno miejscowe jak i ogólne, niż jazda po nawierzchni asfaltowej. Można również zaobserwować przekroczenia wartości dopuszczalnej ekspozycji wyznaczonej w stosunku do rowerzysty poruszającego się rowerem bez wibroizolacji oraz kierowców badanych motocykli przy jeździe po asfalcie, a także wobec wszystkich kierowców badanych pojazdów poruszających się po trylinki (lub kostce). Obliczenia dziennej ekspozycji na drgania wykonano przy założeniu 8-godzinnej czasu narażenia kierowców.

Największe dzienne ekspozycje odnotowane dla drgań miejscowych to wartości przekraczające NDN ponad 4-krotnie (dla skutera Honda Vision 50 podczas jazdy po nawierzchni z trylinki z prędkością 40 km/h), zaś dla drgań ogólnych – prawie 5-krotnie (dla motocykla Suzuki GSX R-1000 podczas jazdy po nawierzchni z trylinki z prędkością 50 km/h).

Na podstawie wyników badań można stwierdzić, że użytkowanie zawodowe pojazdów jednośladowych może wywoływać duże narażenie kierowców zarówno na drgania działające przez kończyny górne, jak i na drgania działające w sposób ogólny. Dlatego też zagrożenie drganiami mechanicznymi na takich stanowiskach pracy powinno być dokładnie identyfikowane. W przypadku stwierdzenia dużego zagrożenia, wyniki przeprowadzonych badań pozwolą pracodawcy na podjęcie właściwych działań ograniczających narażenie (np. efektywne organizowanie pracy

w celu skrócenia rzeczywistego czasu narażenia lub/i zastosowanie układów wibroizolacji o podwyższonej skuteczności).

PIŚMIENNICTWO

- [1] Griffin M.J. *Effects of Vibration on People*. "Handbook of Noise and Vibration Control" (ed. M. J. Crocker), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2008
- [2] Matsumoto T., Yokomori M., Harada N., Fukuchi Y., Kanamori M., Gotoh M. *Mailmen's vibration hazards induced by motorcycle riding*. "Industrial Health" 1982,20:167-175
- [3] Mirbod S.M., Yoshida H., Jamali M., Masamura K., Inaba R., Iwata H. *Assessment of hand-arm vibration exposure among traffic police motorcyclists*. "International Archives of Occupational and Environmental Health" 1997,70:22-28
- [4] Shivakumara B.S., Sridhar V. *Effects of Hand-Arm and Whole-Body Vibrations on Heart of Motorcycle Rider*. "International Journal of Vehicle Structures & Systems" 2010, Vol. 2, No 2
- [5] Hinz B., Seidel H., Menzel G., Blüthner R. *Effects related to random whole-body vibration and posture on a suspended seat with and without backrest*. "Journal of Sound and Vibration" 2002,253:265-282
- [6] Tominaga Y. *Vibration exposure and symptoms in postal carriers using motorbikes*. "Nagoya Journal of Medical Science", 1994,57:235-239 (Suppl.)
- [7] PN-EN ISO 5349-1:2004 Drgania mechaniczne. Pomiar i wyznaczenie ekspozycji człowieka na drgania przenoszone przez kończyny górne. Część 1: Wymagania ogólne.
- [8] PN-EN ISO 5349-2:2004 Drgania mechaniczne. Pomiar i wyznaczenie ekspozycji człowieka na drgania przenoszone przez kończyny górne. Część 2: Praktyczne wytyczne do wykonywania pomiarów na stanowisku pracy.
- [9] PN-EN 14253 Drgania mechaniczne. Pomiar i obliczanie zawodowej ekspozycji na drgania o ogólnym działaniu na organizm człowieka dla potrzeb ochrony zdrowia. Wytyczne praktyczne.

Publikacja przygotowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.