

dr inż. JOLANTA KOTON
mgr inż. JANUSZ SZOPA
Centralny Instytut Ochrony Pracy

Rękawice antywibracyjne - ocena skuteczności i zasady doboru do stanowisk pracy

*Praca wykonana w ramach Strategicznego Programu Rządowego pn.:
„Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy”
dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych*

Drgania mechaniczne transmitowane do rąk operatorów z różnych narzędzi trzymanyh w ręku lub prowadzonych rękami mogą doprowadzić do trwałych zmian chorobowych w organizmie, zwanych zespołem wibracyjnym. Badania epidemiologiczne wykazały ścisły związek przyczynowy między występowaniem u pracowników objawów zespołu wibracyjnego a warunkami pracy, dlatego zespół wibracyjny został uznany w wielu krajach, w tym również w Polsce, za chorobę zawodową. Według *Analizy struktury i zapadalności na choroby zawodowe pracowników gospodarki narodowej w Polsce w 1998 roku*, uzyskanej z Ministerstwa Zdrowia i Opieki Społecznej, a opracowanej przez Instytut Medycyny Pracy w Łodzi - w 1998 r. zespół wibracyjny stanowił 2,9% wszystkich rejestrowanych chorób zawodowych i znajdował się na liście tych chorób na 6 pozycji. Według tego samego źródła liczba osób pracujących w warunkach zagrożenia drganiami mechanicznymi wynosiła w 1998 r. około 30 tys. Mając na uwadze powszechność występowania nadmiernych drgań mechanicznych w środowisku pracy oraz wynikające z tego skutki, konieczne jest eliminowanie lub przynajmniej ograniczanie zagrożenia wynikającego z oddziaływania na pracowników drgań mechanicznych zarówno ze względów społecznych jak i ekonomicznych.

Jednym z możliwych sposobów ograniczania transmisji drgań z uchwytów czy rękojeści narzędzi wibracyjnych do rąk operatorów jest stosowanie materiałów tłumiących na pokrycia czy powłoki rękojeści narzędzi lub też używanie przy pracy z narzędziami rękawic antywibracyjnych.

Od dawna w wielu ośrodkach krajowych i zagranicznych prowadzone są prace nad skonstruowaniem rękawic antywibracyjnych, tj. takich, które tłumiłyby drgania generowane przez narzędzia w możliwie szerokim zakresie częstotliwości. W praktyce jednak do 1996 r. brak było jednoznacznej metody badań rękawic proponowanych do ochrony przed drganiami, a także kryteriów ich oceny. Dopiero w 1996 r. została ustanowiona norma EN ISO 10819 [1], w której sprecyzowano wymagania, jakie powinny spełniać rękawice, aby można je było uznać za antywibracyjne oraz podano metodę ich badań i wymagania dotyczące stanowiska badawczego. Metodę badań rękawic i kryteria ich oceny opisano szczegółowo w Bezpieczeństwie Pracy [4].

W Centralnym Instytucie Ochrony Pracy uruchomiono stanowisko badawcze spełniające wymagania normy EN ISO 10819 i rozpoczęto badania zarówno rękawic sprzedawanych na rynku jako antywibracyjne, jak i badania ukierunkowane na poszukiwanie nowych, skutecznych rozwiązań.

Według ustalonej procedury badań, dla rękawic proponowanych do ochrony przed drganiami wyznaczano dwa charakteryzujące rękawice współczynniki liczbowe: skorygowany współczynnik przenoszenia drgań TR_M dla sygnału testowego M (zakres częstotliwości 32-200 Hz) i skorygowany współczynnik przenoszenia drgań TR_H dla sygnału testowego H (zakres częstotliwości 200-1250 Hz). Wartości tych współczynników decydują, czy rękawice można uznać za antywibracyjne, czy też nie.

Nie można uznać za antywibracyjne rękawic, które nie spełniają jednocześnie dwóch następujących warunków:

1. $TR_M < 1$ (wartość średnia skorygowanego współczynnika przenoszenia drgań przez rękawicę wyznaczona dla sygnału testowego M mniejsza od 1) oraz

2. $TR_H < 0,6$ (wartość średnia skorygowanego współczynnika przenoszenia drgań przez rękawicę wyznaczona dla sygnału testowego H mniejsza od 0,6).

Zatem w świetle ustalonych kryteriów oceny rękawic przeznaczonych do ochrony przed oddziaływaniem drgań, rękawice można uznać za antywibracyjne, jeśli:

- przynajmniej nie wzmacniają drgań przekazywanych z rękkojeści na dłonie operatora w zakresie częstotliwości 32-200 Hz, a jednocześnie
- redukują drgania w zakresie częstotliwości 200-1250 Hz do wartości mniejszych niż 60% wartości drgań mierzonych na dłoni operatora, gdy pracuje on bez rękawicy.

Wyniki otrzymane z dotychczas przeprowadzonych badań wskazują [2, 3], że większość przebadanych typów rękawic oferowanych na rynku krajowym jako antywibracyjne nie spełnia minimalnych wymagań dla rękawic antywibracyjnych, a niektóre z nich w pewnych zakresach częstotliwości nawet drgania wzmacniają.

Podobna sytuacja występuje też w innych krajach; ocenia się, że ustanowione w 1996 r. wymagania dla rękawic antywibracyjnych wyeliminowały z rynków europejskich ok. 90% rękawic sprzedawanych do niedawna jako środki ochrony indywidualnej przed drganiami [6].

Mając powyższe na uwadze, w Polsce rękawice przeznaczone do ochrony pracowników przed niekorzystnym oddziaływaniem drgań mechanicznych zostały wprowadzone do wykazu środków ochrony indywidualnej podlegających obowiązkowej certyfikacji na znak bezpieczeństwa B. Obowiązek uzyskania przez producentów czy importerów certyfikatu dla rękawic antywibracyjnych powinien skutecznie eliminować wyroby, które nie spełniają ustalonych wymagań.

Koncepcja doboru rękawic do stanowisk pracy

Wyznaczone dla rękawic zgodnie z normą EN ISO 10819 [1] wartości skorygowanych współczynników przenoszenia drgań TR_M i TR_H stanowią wystarczającą podstawę, aby stwierdzić czy rękawice należy uznać za antywibracyjne, czy też nie. Jednakże wyznaczone w wyniku testów współczynniki nie dają informacji niezbędnych do oceny skuteczności rękawic sklasyfikowanych jako antywibracyjne przy pracy konkretnymi narzędziami. Sklasyfikowanie rękawicy jako antywibracyjnej nie oznacza, że rękawica ta będzie jednakowo skuteczna przy pracy każdym narzędziem, gdyż skuteczność danej rękawicy w konkretnym układzie rękawica-narzędzie zależy od:

- rozkładu widmowego sygnału drganiowego na rękkojeści narzędzia,
- charakterystyki częstotliwościowej przenoszenia drgań przez rękawicę (wartości współczynników przenoszenia drgań przy poszczególnych częstotliwościach).

Zatem dobór właściwych rękawic do stanowiska pracy (do danego narzędzia) wymaga dodatkowych procedur, gdyż mogą zaistnieć przypadki, że rękawice pozytywnie ocenione na podstawie testów zgodnych z normą i uznane w konsekwencji jako antywibracyjne, w danej, konkretnej sytuacji nie ograniczą jednak ryzyka zawodowego wynikającego z narażenia na drgania miejscowe w ogóle lub też ograniczą je jedynie w minimalnym stopniu.

Przy doborze rękawic antywibracyjnych do poszczególnych narzędzi, należy pamiętać, że podstawą do oceny narażenia pracowników na drgania mechaniczne w środowisku pracy i do oceny ryzyka zawodowego związanego z tym narażeniem są mierzone na stanowiskach pracy wartości ważone przyspieszenia drgań $a_{w,RMS}$. Wartości te, po uwzględnieniu czasu dziennej ekspozycji na zmierzone drgania, są porównywane z ustalonymi w normach higienicznych wartościami dopuszczalnymi. W przypadku drgań mechanicznych oddziałujących na pracowników przez kończyny górne, ważne przyspieszenie drgań jest mierzone na rękkojeści narzędzia. Zakłada się przy tym, że na dłoni operatora obsługującego narzędzie „gołą” ręką wartość ważona przyspieszenia drgań jest taka sama, jak zmierzona na rękkojeści. Po wprowadzeniu do układu narzędzie ręczne - ręka operatora wibroizolacji w postaci rękawic antywibracyjnych, sygnał drganiowy na dłoni operatora ulega zmianie w stosunku do sygnału mierzonego na rękkojeści, przy czym wielkość i charakter zmiany zależą od pierwotnego sygnału na rękkojeści oraz od właściwości tłumiąco-wibroizolacyjnych rękawicy.

W wyniku zmiany sygnału drganiowego na dłoni operatora na skutek zastosowania rękawicy, zmienia się też wartość ważona przyspieszenia drgań na dłoni, czyli drgań wnikaających do organizmu. Im mniejsza będzie wartość ważona przyspieszenia drgań na dłoni operatora obsługującego dane narzędzie po wprowadzeniu rękawicy w stosunku do wartości ważonej przyspieszenia drgań zmierzonej na rękojeści tego narzędzia, tym skuteczność rękawicy w ograniczeniu transmisji drgań do organizmu operatora będzie większa.

Proponuje się zatem, aby miarą skuteczności rękawicy był bezwymiarowy wskaźnik skuteczności, określony jako stosunek wartości ważonej przyspieszenia drgań wyznaczonej na rękojeści narzędzia (czyli na dłoni operatora pracującego bez zabezpieczeń) do wartości ważonej przyspieszenia drgań wyznaczonej na dłoni operatora obsługującego to narzędzie z zastosowaniem środka ochrony.

wskaźnik skuteczności ochrony

$$(WSO) = \frac{a_{w,RMS,r}}{a_{w,RMS,d}}$$

gdzie:

$a_{w,RMS,r}$ - skuteczna wartość ważona przyspieszenia drgań na rękojeści danego narzędzia,

$a_{w,RMS,d}$ - skuteczna wartość ważona przyspieszenia drgań na dłoni operatora obsługującego to narzędzie z zastosowaniem środka ochrony.

Wskaźnik skuteczności ochrony równy jedności ($WSO=1$) oznaczałby, że zastosowana ochrona nie ogranicza transmisji drgań z rękojeści do dłoni operatora w ogóle, czyli nie ma ona żadnego wpływu.

Wskaźnik skuteczności ochrony mniejszy od jedności ($WSO<1$) oznaczałby, że zastosowana ochrona nie tylko nie ogranicza transmisji drgań z rękojeści narzędzia do dłoni operatora, lecz tę transmisję wzmacnia.

Wskaźnik skuteczności ochrony większy od jedności ($WSO>1$) oznaczałby, że zastosowana ochrona ogranicza transmisję drgań z rękojeści do dłoni operatora, a zatem redukuje drgania wnikaające do organizmu operatora przez kończyny górne, czyli ogranicza zawodowe ryzyko choroby wibracyjnej.

Przy proponowanej wyżej definicji wskaźnika skuteczności ochrony, rzeczywiście skuteczna przy pracy danym narzędziem byłaby tylko taka ochrona, dla której wyznaczony wskaźnik byłby większy od jedności, zaś stopień redukcji drgań wskutek zastosowania ochrony byłby tym większy, im większy byłby ten wskaźnik.

Uwzględniając powyższe założenia, dobór rękawic do pracy danym narzędziem, w celu ograniczenia ryzyka zawodowego choroby wibracyjnej w maksymalnie możliwym stopniu, polegałby na wyselekcjonowaniu z bazy danych o rękawicach antywibracyjnych takich rękawic, dla których wyznaczony wskaźnik skuteczności byłby największy.

Przyjmując proponowaną koncepcję doboru środka ochrony przed drganiami do konkretnego narzędzia, należy jeszcze raz podkreślić, że o skuteczności środka decyduje głównie:

- rozkład widmowy sygnału drganiowego na rękojeści narzędzia,
- charakterystyka częstotliwościowa przenoszenia drgań wyznaczona dla danego środka ochrony indywidualnej.

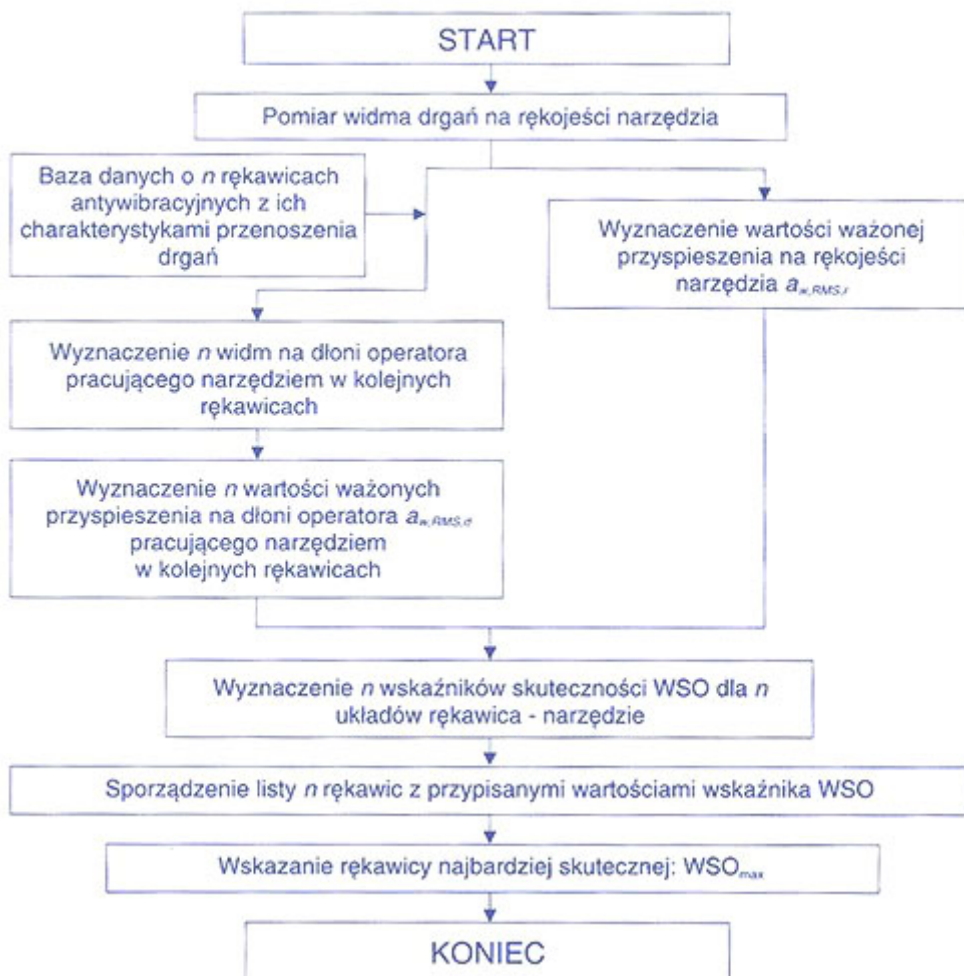
Proces doboru najbardziej skutecznego środka ochrony do pracy danym narzędziem składałby się zatem z następujących etapów:

1. Pomiar widma drgań na rękojeści narzędzia.
2. Wyznaczenie wartości ważonej przyspieszenia drgań na rękojeści narzędzia (na podstawie zmierzonego widma drgań lub przez bezpośredni pomiar przy wykorzystaniu miernika wyposażonego w filtr ważenia dla drgań miejscowych).

3. Skorygowanie zmierzonego jak w etapie I widma drgań na rękojeści narzędzia znaną charakterystyką częstotliwościową przenoszenia drgań danej rękawicy (wymnożenie zmierzonych na rękojeści wartości przyspieszeń drgań dla poszczególnych częstotliwości przez znane wartości współczynnika przenoszenia drgań dla rękawicy dla tych samych częstotliwości). W wyniku tego etapu otrzymuje się widmo drgań na dłoni operatora pracującego danym narzędziem z zastosowaniem danego środka ochrony.
4. Wyznaczenie wartości ważonej przyspieszenia drgań na dłoni operatora pracującego danym narzędziem z zastosowaniem danego środka ochrony (na podstawie widma drgań na dłoni operatora wyznaczonego jak w etapie 3).
5. Obliczenie wskaźnika skuteczności danej ochrony, czyli ilorazu wyznaczonych wartości ważonych przyspieszenia drgań na rękojeści danego narzędzia (jak w etapie 2) oraz na dłoni operatora pracującego danym narzędziem z zastosowaniem danego środka ochrony (jak w etapie 4).
6. Powtórzenie działań jak w etapach 3-5 dla każdego wzoru rękawic antywibracyjnych dostępnych w bazie danych.
7. Sporządzenie listy rozpatrywanych rękawic antywibracyjnych z podaniem dla każdej rękawicy wartości obliczonego dla niej, (jak w etapie 5), wskaźnika skuteczności.
8. Wybór (wskazanie) do pracy danym narzędziem rękawicy, dla której obliczony wskaźnik skuteczności jest największy (wybrana w ten sposób rękawica jest najbardziej skuteczna przy pracy danym narzędziem ze względu na ochronę przed drganiami).

Przebieg procesu doboru rękawic antywibracyjnych do pracy danym narzędziem z uwzględnieniem wszystkich następujących po sobie etapów przedstawiono na [rysunku](#).

ALGORYTM DOBORU RĘKAWIC ANTYWIBRACYJNYCH DO STANOWISKA PRACY (NARZĘDZIA)



Weryfikacja procedury doboru - wyniki badań

W przyjętej koncepcji doboru środków ochrony indywidualnej przed drganiami do określonych narzędzi (stanowisk pracy) założono, że powinna istnieć określona baza rękawic antywibracyjnych (tj. rękawic spełniających określone wymagania ustalone w przedmiotowej normie). W praktyce asortyment takich rękawic jest, jak dotąd, bardzo wąski. Dlatego też weryfikację procedury doboru przeprowadzono na zasadzie oceny skuteczności jednego typu rękawic sklasyfikowanych jako antywibracyjne ($TR_M = 0,84$ i $TR_H = 0,55$) przy ich zastosowaniu do pracy różnymi narzędziami. Weryfikacja miała na celu potwierdzenie, że wskaźnik skuteczności ochrony WSO w układzie „dana rękawica antywibracyjna - narzędzie” może przyjmować różne wartości w zależności od używanego w procesie pracy narzędzia. Jeśli tak, to należy założyć, że w przypadku gdy wskaźnik skuteczności WSO dla zestawu „dana rękawica - dane narzędzie” jest bliski jedności (skuteczność rękawicy mała), do narzędzia tego można dobrać inną rękawicę, tak aby skuteczność wnoszonej przez tę rękawicę ochrony była większa.

W celu dokonania oceny skuteczności wybranych rękawic antywibracyjnych w ograniczaniu drgań transmitowanych z narzędzi do rąk pracowników obsługujących te narzędzia, dla wybranego wzoru rękawic wyznaczono na wstępie charakterystykę przenoszenia drgań w funkcji częstotliwości. Następnie do badań wybrano narzędzia najczęściej używane przy remontach dróg, tj. młoty pneumatyczne, hydrauliczne, spalinowe, walce wibracyjne, ubijarki ręczne, zagęszczarko-ubijarki oraz piły do cięcia asfaltu. Podczas eksploatacji wybranych narzędzi w warunkach rzeczywistych dokonano rejestracji sygnałów drganiowych wytwarzanych na ich rękojeściach, po czym zarejestrowane sygnały poddano analizie widmowej. Uzyskano w ten sposób widma sygnałów drganiowych na rękojeściach poszczególnych narzędzi. Widma te poddano stosownemu dla drgań miejscowych ważeniu częstotliwościowemu, otrzymując skuteczne wartości ważne przyspieszenia drgań $a_{w,RMS,r}$ na rękojeściach narzędzi. Jednocześnie wyznaczone na rękojeściach narzędzi widma drgań skorygowano charakterystyką częstotliwościową przenoszenia drgań, wyznaczoną wcześniej dla wybranych rękawic antywibracyjnych. Określono w ten sposób widma drgań na dłoni operatora obsługującego poszczególne narzędzia w tych rękawicach. Widma te także poddano ważeniu częstotliwościowemu stosowanemu dla drgań miejscowych w celu wyznaczenia skutecznych wartości ważonych przyspieszeń drgań $a_{w,RMS,d}$ na dłoni operatora pracującego w rękawicy. Wyznaczone wartości ważne przyspieszenia drgań $a_{w,RMS,r}$ na rękojeściach poszczególnych narzędzi oraz wyznaczone wartości ważne przyspieszenia drgań $a_{w,RMS,d}$ na dłoni operatora pracującego w wybranych rękawicach poszczególnymi badanymi narzędziami posłużyły do obliczenia wskaźnika skuteczności tych rękawic w sytuacji ich zastosowania przy pracy kolejnymi narzędziami. Otrzymane z pomiarów i obliczeń wyniki zestawiono w [tabeli](#).

WSKAŹNIKI SKUTECZNOŚCI WYBRANYCH RĘKAWIC ANTYWIBRACYJNYCH
NA KONTROLOWANYCH STANOWISKACH PRACY

Lp.	Stanowisko pracy	Wykonywana czynność	Wskaźnik skuteczności ochrony WSO
1	Operator młota pneumatycznego remontera drogowego PM-28	kucie betonu	$\frac{77,66}{75,57} = 1,028$
2	Operator młota hydraulicznego LIFTON	kruszenie chudego betonu	$\frac{20,15}{16,536} = 1,219$
3	Operator walca wibracyjnego WARTIMEX	walcowanie leszu	$\frac{4,88}{3,6} = 1,356$
4	Operator ubijarki ręcznej BOMAG	ubijanie leszu	$\frac{1,81}{1,24} = 1,460$
5	Operator zagęszczarko-ubijarki (skoczek) WACKER-WERKE	kruszenie asfaltu	$\frac{14,18}{14,11} = 1,005$
6	Operator piły do cięcia asfaltu WACKER-WERKE	cięcie asfaltu	$\frac{8,96}{5,0} = 1,792$
7	Operator walca wibracyjnego 1.3 MADRO-KRAKÓW	walcowanie asfaltu	$\frac{10,27}{10,21} = 1,006$
8	Operator ubijarki ręcznej VIBROMAX	ubijanie leszu	$\frac{6,74}{6,29} = 1,072$
9	Operator młota hydraulicznego KRUPP	kruszenie asfaltu	$\frac{8,81}{7,61} = 1,158$
10	Operator młota spalinowego PIONJÄR	kruszenie betonu	$\frac{17,34}{15,18} = 1,142$

Na podstawie wyników uzyskanych z pomiarów i przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że na wszystkich kontrolowanych stanowiskach pracy zastosowanie wybranego typu rękawic antywibracyjnych

powoduje ograniczenie wartości drgań transmitowanych do rąk operatorów, gdyż we wszystkich rozważanych przypadkach wskaźniki skuteczności rękawic WSO są większe od jedności. Należy jednak zauważyć, że wskaźniki skuteczności ochrony wyznaczone dla tych samych rękawic przyjmują różną wartość w zależności od używanego przy pracy narzędzia i wykonywanej czynności.

Największą wartość wskaźnika skuteczności ochrony dla wybranych rękawic antywibracyjnych (WSO=1,792), stwierdzono przy operacji cięcia asfaltu piłą Wacker-Werke. Wskaźnik skuteczności WSO =1,792 oznacza, że w wyniku stosowania rękawic antywibracyjnych drgania na dłoni operatora są 1,792 razy mniejsze niż na rękojeści narzędzia, zatem dopuszczalny, ze względu na ochronę zdrowia operatora, czas pracy tym narzędziem w ciągu zmiany roboczej przy stosowaniu rękawic może być $(WSO)^2=3,2$ razy dłuższy niż dopuszczalny czas operowania narzędziem „gołymi” rękoma.

Najmniej skuteczne okazały się wybrane rękawice przy ich zastosowaniu do kruszenia asfaltu zagęszczarko-ubijarką Wacker. W tym przypadku wskaźnik skuteczności ochrony wynosił WSO=1,005, co oznacza, że w praktyce ograniczenie drgań transmitowanych z zagęszczarko-ubijarki do rąk jej operatora w wyniku zastosowania wybranych rękawic antywibracyjnych jest pomijalnie małe. Należy zatem przyjąć, że do pracy ww. zagęszczarko-ubijarką powinny być dobrane inne, niż rozpatrywane, rękawice antywibracyjne, tak aby wskaźnik skuteczności ochrony w układzie „zagęszczarko-ubijarka - dobrane rękawice” był możliwie największy, np. taki, jak dla rozważanych tu rękawic przy ich wykorzystaniu do pracy piłą do cięcia asfaltu.

Przeprowadzone badania wykazały, że proponowana procedura doboru rękawic antywibracyjnych do stanowisk pracy (narzędzi) na podstawie wyznaczania wskaźnika skuteczności ochrony dla konkretnych układów „rękawica - narzędzie” sprawdziła się w praktyce oraz, że właściwy dobór środka ochrony decyduje o stopniu ograniczenia drgań wnikaających do organizmu czyli o stopniu zmniejszenia ryzyka zawodowego wynikającego z narażenia pracowników na drgania miejscowe w ich środowisku pracy.

PIŚMIENNICTWO

- [1] EN ISO 10819: *Mechanical vibration and shock — Hand-arm vibration — Method for the measurement and evaluation of the vibration transmissibility of gloves at the palm of the hand*. International Organization for Standardization, Geneva 1996
- [2] Koton J., Kowalski R, Liwkowicz J, Szopa J.: *Dobór materiałów do konstrukcji rękawic chroniących przed oddziaływaniem drgań mechanicznych na podstawie wyznaczania funkcji transmisji drgań*. Sprawozdanie z grantu 7S10102007, CIOP 1996
- [3] Koton J., Kowalski P, Szopa J.: *Hand-arm vibration protection - testing and evaluating gloves offered as antivibration gloves on the Polish market*. Materiały z Międzynarodowej Konferencji INTER NOISE 96, Liverpool, W. Brytania 1996
- [4] Koton J., Kowalski P, Szopa J.: *Rękawice antywibracyjne - metoda badań i kryteria oceny*. Bezpieczeństwo Pracy nr 3, 1997
- [5] Koton J., Kowalski P, Szopa J.: *Dobór materiałów tłumiących i rękawic ochronnych do ograniczania drgań oddziałujących na pracowników w celu profilaktyki choroby wibracyjnej*. SPR-1, zadanie badawcze nr 03.8.7, sprawozdanie z badań CIOP 1998
- [6] Voss R: *Protection from hand-arm vibration by the use of gloves: possibility or fraud*. Materiały z Międzynarodowej Konferencji INTER NOISE 96, Liverpool, W. Brytania 1996