6-4. Drgania mechaniczne (wibracje) [B]

prof. dr hab. med. Danuta Koradecka - Centralny Instytut Ochrony Pracy
dr inż. Jolanta Koton - Centralny Instytut Ochrony Pracy
prof. dr hab. inż. Adam Lipowczan - Główny Instytut Górnictwa
mgr inż. Janusz Szopa - Centralny Instytut Ochrony Pracy

6-4.1. Wprowadzenie

Drgania określane są w fizyce jako zjawiska, w których wielkości fizyczne charakterystyczne dla tych zjawisk są zmienne w funkcji czasu. Węższym pojęciem są drgania akustyczne definiowane jako ruch cząstek ośrodka sprężystego względem położenia równowagi. Drgania akustyczne mogą zatem rozprzestrzeniać się w ośrodkach zarówno gazowych, ciekłych, jak i stałych. W tej klasie zjawisk niskoczęstotliwościowe drgania akustyczne rozprzestrzeniające się w ośrodkach stałych przyjęto nazywać **drganiami mechanicznymi (wibracjami)**, (6-4.fol.1).

Drgania mechaniczne w wielu przypadkach są czynnikiem roboczym, celowo wprowadzanym przez konstruktorów do maszyn czy urządzeń jako niezbędny element do realizacji zadanych procesów technologicznych, np. w maszynach i urządzeniach do wibrorozdrabniania, wibroseparacji, wibracyjnego zagęszczania materiałów, oczyszczania i mielenia wibracyjnego, a także do kruszenia materiałów, wiercenia, drążenia i szlifowania. Drgania mechaniczne są też często bezcennym źródłem informacji, gdyż na podstawie analizy sygnału drganiowego można dokonać oceny stanu technicznego maszyny i jakości jej wykonania. Jednakże drgania mechaniczne mogą również powodować zakłócenia w prawidłowym działaniu maszyn i innych urządzeń, zmniejszać ich trwałość i niezawodność oraz niekorzystnie wpływać na konstrukcje i budowle. Przenoszone drogą bezpośredniego kontaktu z drgającym źródłem do organizmu człowieka mogą też wywierać ujemny wpływ na zdrowie pracowników i doprowadzać niejednokrotnie do trwałych zmian chorobowych. Zatem z punktu widzenia **ochrony i bezpieczeństwa człowieka** w środowisku pracy, drgania mechaniczne są **szkodliwym czynnikiem** fizycznym, który należy eliminować lub przynajmniej ograniczać (6-4.fol.2).

Celem niniejszego opracowania jest scharakteryzowanie zagrożenia powodowanego drganiami mechanicznymi występującymi w środowisku pracy w odniesieniu do człowieka (z pominięciem wpływu drgań na stan maszyn i urządzeń czy konstrukcji budowlanych, co stanowi przedmiot tzw. diagnostyki wibroakustycznej).

6-4.2. Podział drgań mechanicznych i ich źródła w środowisku pracy

Drgania mechaniczne możemy podzielić w różnoraki sposób w zależności od przyjętych kryteriów podziału. Mając na uwadze, że rodzaj niekorzystnych zmian w organizmie człowieka będących następstwem zawodowej ekspozycji na drgania oraz szybkość powstawania tych zmian zależą w istotnym stopniu od miejsca wnikania drgań do organizmu, drgania mechaniczne można podzielić na dwa typy (6-4.fol.3 animacje: 6-4.anim.3a 6-4.anim.3b):

- **drgania o oddziaływaniu ogólnym**, przenikające do organizmu człowieka przez jego nogi, miednicę, plecy lub boki (drgania ogólne)
- drgania oddziałujące na organizm człowieka przez kończyny górne (**drgania miejscowe**).

Podział drgań mechanicznych na drgania ogólne i miejscowe nie wyklucza oczywiście możliwości innych podziałów, ale jest podziałem najbardziej istotnym z punktu widzenia oceny narażenia człowieka na drgania w środowisku pracy. Od rodzaju drgań, na które eksponowany jest pracownik, zależy reakcja jego organizmu, a zatem inne są wartości dopuszczalne ustalone ze względu na ochronę zdrowia dla drgań o oddziaływaniu ogólnym, a inne dla drgań oddziałujących na organizm przez kończyny górne.

Uwzględniając wprowadzony podział drgań mechanicznych, **źródła drgań** w środowisku pracy można podzielić również na dwie grupy tj.:

- źródła drgań o oddziaływaniu ogólnym (6-4.fol.4)
- źródła drgań oddziałujących przez kończyny górne (6-4.fol.5).

Źródłami drgań o oddziaływaniu ogólnym są np.:

- podłogi, podesty, pomosty w halach produkcyjnych i innych pomieszczeniach, na których zlokalizowane są stanowiska pracy. Oczywiście pierwotnymi źródłami drgań są w tym przypadku eksploatowane w pomieszczeniach lub poza nimi maszyny oraz urządzenia stacjonarne, przenośne lub przewoźne, które wprawiają w drgania podłoże, na którym stoi operator. Przyczyną drgań podłoża może też być ruch uliczny czy kolejowy
- platformy drgające
- siedziska i podłogi środków transportu (samochodów, ciągników, autobusów, tramwajów, trolejbusów oraz pojazdów kolejowych, statków, samolotów itp.)
- siedziska i podłogi maszyn budowlanych (np. do robót ziemnych, fundamentowania, zagęszczania gruntów).

Źródłami drgań oddziałujących na organizm człowieka przez kończyny górne są głównie:

- ręczne narzędzia uderzeniowe o napędzie pneumatycznym, hydraulicznym lub elektrycznym (młotki pneumatyczne, ubijaki mas formierskich i betonu, nitowniki, wiertarki udarowe, klucze udarowe itp.)
- ręczne narzędzia obrotowe o napędzie elektrycznym lub spalinowym (wiertarki, szlifierki, piły łańcuchowe itp.)
- dźwignie sterujące maszyn i pojazdów obsługiwane rękami
- źródła technologiczne (np. obrabiane elementy trzymane w dłoniach lub prowadzone ręką przy procesach szlifowania, gładzenia, polerowania itp.).

Przykłady zawodowej ekspozycji na drgania przedstawiono na foliach 6-4.fol.6 i 6-4.fol.7 (animacja: 6-4.anim.7).

Należy zaznaczyć, że niektóre narzędzia ręczne zaliczane do typowych źródeł drgań miejscowych (np. młoty, pilarki) mogą generować drgania o bardzo dużej intensywności. Wówczas drgania te mogą być przenoszone przez barki na tułów i głowę, co w konsekwencji może doprowadzić do wzbudzenia drgań rezonansowych narządów wewnętrznych. W takim przypadku narzędzia ręczne są również źródłami drgań o oddziaływaniu ogólnym.

6-4.3. Skutki oddziaływania drgań mechanicznych na organizm człowieka

Drgania mechaniczne przenoszone z układów drgających do organizmu człowieka, mogą negatywnie oddziaływać bezpośrednio na poszczególne tkanki i naczynia krwionośne, bądź też mogą spowodować wzbudzenie do drgań całego ciała lub jego części, a nawet struktur komórkowych. Długotrwałe narażenie człowieka na drgania może zatem wywołać, jak już wspomniano, szereg zaburzeń w organizmie, doprowadzając w konsekwencji do trwałych, nieodwracalnych zmian chorobowych, przy czym rodzaj tych zmian zależny jest od rodzaju drgań, na które eksponowany jest człowiek (ogólne czy miejscowe), [2, 3, 4, 5].

6-4.3.1. Drgania oddziałujące przez kończyny górne

Narażenie na drgania mechaniczne przenoszone do organizmu przez kończyny górne powoduje głównie zmiany chorobowe w układach:

- krążenia krwi (naczyniowym)
- nerwowym
- kostno-stawowym.

Badania epidemiologiczne wykazały ścisły związek przyczynowy między występowaniem u pracowników zmian chorobowych w wymienionych układach a warunkami pracy. Stąd zespół tych zmian, zwany zespołem wibracyjnym, został uznany w wielu krajach, w tym również w Polsce, za **chorobę zawodową**.

Według danych statystycznych z 1998 r. sporządzonych przez Instytut Medycyny Pracy w Łodzi zespół wibracyjny stanowił w Polsce 2,9% wszystkich rejestrowanych chorób zawodowych i znajdował się na liście tych chorób na 6 pozycji po chorobach narządu głosu, zawodowym uszkodzeniu słuchu, chorobach zakaźnych i inwazyjnych, pylicach płuc oraz chorobach skóry.

Najczęściej rejestrowaną postacią zespołu wibracyjnego jest tzw. postać naczyniowa, charakteryzująca się napadowymi zaburzeniami krążenia krwi w palcach rąk. Występujące wówczas napadowe skurcze naczyń krwionośnych objawiają się blednięciem opuszki jednego lub więcej palców i stąd pochodzi jedno z potocznych określeń tej postaci zespołu wibracyjnego jako „choroby białych palców” (6-4.fol.8, 6-4.fol.9, 6-4.fol.10, 6-4.fol.11).

Rejestrowane nieco rzadziej postacie zespołu wibracyjnego to postać nerwowa i postać kostno-stawowa, przy czym mogą wystąpić też inne postacie mieszane [4] (6-4.fol.8).

Zmiany w układzie nerwowym powstałe na skutek działania drgań miejscowych to głównie zaburzenia czucia dotyku, wibracji, temperatury, a także dolegliwości w postaci drętwienia czy mrowienia palców i rąk. Jeżeli narażenie na drgania jest kontynuowane, zmiany pogłębiają się, prowadząc do obniżenia zdolności do pracy i innych czynności życiowych.

Zmiany w układzie kostno-stawowym ręki powstają głównie na skutek drgań miejscowych o częstotliwościach mniejszych od 30 Hz. Obserwuje się m.in. zniekształcenia szpar stawowych, zwapnienia torebek stawowych, zmiany okostnej, zmiany w utkaniu kostnym.

Na drgania mechaniczne oddziałujące na organizm człowieka przez kończyny górne narażeni są głównie operatorzy wszelkiego rodzaju ręcznych narzędzi wibracyjnych stosowanych powszechnie w przemyśle maszynowym, hutniczym, stoczniowym, przetwórczym, a także w leśnictwie, rolnictwie, kamieniarstwie, górnictwie i budownictwie. Zatem obszar potencjalnego zagrożenia pracowników tym rodzajem drgań jest bardzo

rozległy.

6-4.3.2. Drgania o oddziaływaniu ogólnym

Negatywne skutki zawodowej ekspozycji na drgania o oddziaływaniu ogólnym dotyczą zwłaszcza:

- układu kostnego
- narządów wewnętrznych człowieka.

W układzie kostnym chorobowe zmiany powstają głównie w odcinku lędźwiowym kręgosłupa, rzadziej w odcinku szyjnym. Zespół bólowy kręgosłupa będący następstwem zmian chorobowych, a występujący u osób narażonych zawodowo na drgania ogólne został uznany w niektórych krajach (np. w Belgii i w Niemczech) za chorobę zawodową, podobnie jak zespół wibracyjny będący następstwem działania drgań miejscowych.

Zaburzenia w czynnościach narządów wewnętrznych pojawiające się na skutek działania drgań ogólnych, są głównie wynikiem pobudzenia poszczególnych narządów do drgań rezonansowych (częstotliwości drgań własnych większości narządów zawierają się w zakresie 2 ÷ 18 Hz). Najbardziej udokumentowane są niekorzystne zmiany w czynnościach narządów układu pokarmowego, w tym głównie żołądka i przełyku, ale badania dużych grup narażonych zawodowo na drgania ogólne wskazują, że zaburzenia występują również, m.in. w narządzie przedsionkowo-ślimakowym, narządach układu rozrodczego kobiet, narządach klatki piersiowej, narządach jamy nosowo-gardłowej.

Na drgania mechaniczne o ogólnym oddziaływaniu na organizm są narażeni przede wszystkim kierowcy, motorniczowie, maszyniści, operatorzy maszyn budowlanych i drogowych. W tych przypadkach drgania są przenoszone do organizmu z siedzisk pojazdów przez miednicę, plecy i boki. Należy jednak pamiętać, że zawodowa ekspozycja na drgania ogólne często dotyczy też pracowników obsługujących w pozycji stojącej maszyny i urządzenia stacjonarne eksploatowane w różnych pomieszczeniach pracy. W takim przypadku drgania przenikają do organizmu pracownika przez jego stopy z drgającego podłoża, na którym usytuowane jest stanowisko pracy, a skutki działania tych drgań są podobne jak drgań transmitowanych z siedzisk.

Opisanym wyżej skutkom biologicznym oddziaływania drgań miejscowych i ogólnych na organizm człowieka, towarzyszą zazwyczaj tzw. skutki funkcjonalne [2]. Zalicza się do nich m.in.:

- zwiększenie czasu reakcji ruchowej
- zwiększenie czasu reakcji wzrokowej
- zakłócenia w koordynacji ruchów
- nadmierne zmęczenie
- bezsenność
- rozdrażnienie
- osłabienie pamięci.

Niekorzystne zmiany funkcjonalne prowadzą do obniżenia efektywności i jakości wykonywanej pracy, a czasami w ogóle ją uniemożliwiają.

Wg danych statystycznych z ostatnich lat liczba osób zatrudnionych w Polsce w warunkach narażenia na drgania wynosi ok. 100 tys. W warunkach zagrożenia drganiami, tj. przy przekroczonych wartościach dopuszczalnych, ustalonych ze względu na ochronę zdrowia, pracuje ok. 40 tys. osób.

Uwzględniając powszechność występowania drgań mechanicznych w środowisku pracy oraz wynikające z tego skutki (6-4.fol.12), konieczne są pomiary tego czynnika na stanowiskach pracy, w celu oceny zawodowego ryzyka utraty zdrowia wynikającego z ekspozycji na drgania oraz podejmowanie działań ograniczających występujące ryzyko.

6-4.4. Podstawowe wielkości charakteryzujące drgania mechaniczne, wyznaczane na stanowiskach pracy

Podstawowymi wielkościami opisującymi intensywność drgań mechanicznych, są:

- przemieszczenie (wychylenie)
- prędkość drgań
- przyspieszenie drgań.

Do oceny wpływu drgań mechanicznych na organizm człowieka mierzoną zazwyczaj wielkością jest przyspieszenie drgań, które wydaje się najlepiej charakteryzować stronę energetyczną procesu drganiowego; do tego parametru odnoszą się wartości kryterialne (dopuszczalne) odniesione do 8-godzinnej ekspozycji, a ustalone ze względu na ochronę zdrowia w wielu obowiązujących obecnie normach krajowych i międzynarodowych. Zatem, w dalszej części opracowania drgania mechaniczne będą rozpatrywane przy uwzględnieniu tej właśnie wielkości (6-4.fol.13).

Sygnał drganiowy może zawierać jedną składową o określonej częstotliwości (drgania sinusoidalne), lecz w praktyce najczęściej występują drgania złożone z wielu składowych sinusoidalnych lub nawet stanowiące sumę nieskończonej ich liczby. W najprostszym przypadku drgań sinusoidalnych (6-4.fol.14 animacja: 6-4.anim.14) chwilowa wartość przyspieszenia drgań określona jest zależnością:

$$a = a_{peak} \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right) = a_{peak} \sin(2\pi f t) \qquad (1)$$

w której:

a_{peak} - maksymalna wartość przyspieszenia (wartość szczytowa), w m/s^2
t - czas, w s
T - okres drgań, w s
$f = 1/T$ - częstotliwość, w Hz.

Do opisu drgań, poza wartością chwilową przyspieszenia oraz wartością szczytową, przydatne jest wprowadzenie kolejnych miar, a mianowicie:

- wartości skutecznej przyspieszenia drgań $a_{RMS}(a_{sk})$, w m/s^2, określonej zależnością:

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T a^2(t)\,dt}. \qquad (2)$$

- wartości średniej przyspieszenia drgań $a_{śr}$, w m/s^2, określonej zależnością:

$$a_{śr} = \frac{1}{T}\int_0^T |a(t)|\,dt \qquad (3)$$

Wymienione wyżej miary przyspieszenia służą do przedstawienia drgań jako funkcji czasu. Do pełnego ilościowego i jakościowego opisu drgań złożonych, konieczna jest także ich prezentacja w funkcji częstotliwości. Rozkładanie drgań złożonych na drgania składowe o różnych częstotliwościach, nazywane jest analizą widmową. Analiza widmowa prowadzi do określenia widma drgań definiowanego jako zbiór wartości wielkości zmiennej (np. przyspieszenia) odpowiadających poszczególnym częstotliwościom.

Przy ocenie wpływu drgań na organizm człowieka zaleca się niekiedy wykonanie analizy widmowej drgań w pasmach oktawowych lub 1/3-oktawowych (tercjowych). Stosowaną wówczas miarą intensywności drgań jest:

- wartość skuteczna przyspieszenia drgań w oktawowych lub tercjowych pasmach częstotliwości; zbiór tych wartości stanowi widmo drgań (odpowiednio oktawowe lub tercjowe).

Pomiar wartości skutecznych przyspieszenia drgań w pasmach oktawowych lub tercjowych umożliwiają analizatory oktawowo-tercjowe lub mierniki drgań wyposażone w odpowiednie filtry zewnętrzne.

Reakcja organizmu człowieka na drgania mechaniczne zależy, jak zaznaczono, od wielu czynników, w tym również od składu widmowego sygnału drgań występujących na danym stanowisku pracy. Zróżnicowaną reakcję organizmu na drgania w zależności od ich częstotliwości uwzględnia się przez wprowadzenie kolejnej miary intensywności drgań, a mianowicie:

- wartości skutecznej przyspieszenia drgań ważonej w dziedzinie częstotliwości (wartości ważonej przyspieszenia drgań); $a_{w,\ RMS}$, w m/s^2.

Wagą przy pomiarze wartości ważonej przyspieszenia są specjalnie ukształtowane charakterystyki częstotliwościowe filtrów ważenia. Filtry ważenia przepuszczają w całości te składowe drgań, na które organizm człowieka jest najbardziej wrażliwy, natomiast odpowiednio tłumią składowe o częstotliwościach, na które człowiek reaguje słabiej. W filtry ważenia jest wyposażony każdy miernik przeznaczony do pomiarów drgań na stanowiskach pracy.

Określenie wartości ważonej przyspieszenia drgań jest niezbędne do oceny narażenia pracownika na drgania, gdyż ustalone ze względu na ochronę zdrowia wartości dopuszczalne przyspieszenia są również wartościami ważonymi.

Należy tu zaznaczyć, że dopuszczalne wartości ważone przyspieszania drgań ustalono przy założeniu 8-godzinnej ekspozycji pracownika na drgania w ciągu doby. W sytuacjach stosunkowo prostych, tj. gdy pracownik w ciągu dnia pracy wykonuje jedną czynność w narażeniu na drgania, a ponadto czas wykonywania tej czynności wynosi pełne 8 godzin, oceny narażenia pracownika na drgania dokonuje się na podstawie porównania zmierzonej wartości ważonej przyspieszenia drgań z ustaloną dopuszczalną wartością ważoną. Sytuacje takie w praktyce występują jednak sporadycznie. Zazwyczaj pracownik w ciągu dnia pracy wykonuje różne czynności w narażeniu na drgania o różnej intensywności i o różnym czasie trwania. Wówczas do oceny wielkości narażenia pracownika na drgania, konieczne jest wyznaczenie kolejnej charakterystycznej wielkości, a mianowicie:

- równoważnej za 8 godzin wartości ważonej przyspieszenia drgań, $a_{w,eq,8h}$, w m/s^2 (6-4.fol.15).

Równoważną za 8 godzin wartość ważoną przyspieszenia drgań wyznacza się z zależności:

$$a_{w,eq,8h} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} a_{w,RMS_i}^2 \cdot t_i}{T}} \qquad (4)$$

w której:

- $a_{w,RMSi}$ - *i*-ta skuteczna wartość ważona przyspieszenia drgań zmierzona na stanowisku pracy przy wykonywaniu *i*-tej czynności, w m/s^2
- t_i - rzeczywisty czas oddziaływania na operatora drgań o zmierzonym przyspieszeniu $a_{w,RMSi}$ (czas trwania *i*-tej czynności)
- T - czas trwania zmiany roboczej (T = 8 h = 480 min)
- n - liczba czynności w narażeniu na drgania.

Generalnie wyznaczona wartość równoważna stanowi podstawę do oceny narażenia; dopiero tę wartość (a nie wartości zmierzone) można porównywać z ustalonymi dla danych warunków wartościami dopuszczalnymi, w celu oszacowania wielkości ryzyka zawodowego na ocenianym stanowisku pracy i określenia niezbędnych działań zmierzających do jego ograniczenia.

Omówione wyżej miary (6-4.fol.16) są miarami intensywności drgań. Przy ocenie oddziaływania drgań na człowieka zgodnie z polskimi normami ważną wielkością charakteryzującą drgania, nie z punktu widzenia ich intensywności, lecz pod katem ich charakteru, jest:

- współczynnik szczytu *k* (6-4.fol.17), definiowany jako:

$$k = \frac{a_{w,peak}}{a_{w,RMS}} \qquad (5)$$

gdzie:

- $a_{w,peak}$ - szczytowa wartość ważona przyspieszenia drgań, w m/s^2
- $a_{w,RMS}$ - skuteczna wartość ważona przyspieszenia drgań, w m/s^2.

Wartość współczynnika szczytu wyznaczona w procesie pomiaru drgań na ocenianym stanowisku pracy decyduje o wartości dopuszczalnej przyspieszania drgań na tym stanowisku.

6-4.5. Kryteria oceny drgań mechanicznych na stanowiskach pracy - wartości dopuszczalne

Uwzględniając, że określone czynniki fizyczne, do których zalicza się też drgania mechaniczne, są czynnikami potencjalnie szkodliwymi w środowisku pracy, ustalono najwyższe dopuszczalne natężenia (NDN) tych czynników, tj. takie wartości, przy których oddziaływanie danego czynnika na pracownika w ciągu 8-godzinnego dobowego i 42-godzinnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, przez okres jego aktywności zawodowej, nie powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń.

Najwyższe dopuszczalne natężenie (NDN) dla drgań mechanicznych wyrażone jest jako dopuszczalna wartość ważona przyspieszania drgań, odniesiona do 8-godzinnej ekspozycji pracownika na drgania w ciągu doby.

Dopuszczalne wartości ważone przyspieszenia drgań oddziałujących na człowieka zarówno przez kończyny górne, jak też o oddziaływaniu ogólnym są podane w wykazie wartości najwyższych

dopuszczalnych natężeń (NDN) czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, w załączniku nr 2 do rozporządzenia ministra pracy i polityki socjalnej z dnia 17 czerwca 1998 r. [14], (6-4.fol.18). Wartości te przytoczono w tab. 1 i 2 (6-4.fol.19, 6-4.fol.20).

Jeśli zawodowe narażenie na drgania dotyczy kobiet, obowiązują wartości dopuszczalne podane w załączniku do rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom [12]. Wartości te przytoczono w tab. 3 i 4 (6-4.fol.21, 6-4.fol.22).

W przywołanym rozporządzeniu ministra pracy i polityki socjalnej w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [14], oprócz dopuszczalnych wartości ważonych przyspieszenia drgań o ogólnym oddziaływaniu na organizm człowieka, są określone także dopuszczalne wartości skuteczne przyspieszenia drgań w pasmach częstotliwości o szerokości 1/3 oktawy. Należy jednak zaznaczyć, że tzw. widmową ocenę narażenia na drgania w praktyce wykonuje się sporadycznie.

6-4.6. Pomiary drgań mechanicznych i ocena narażenia

Zasady wykonywania pomiarów drgań na stanowiskach pracy są podane w normie PN-91/N-01352 [15] (6-4.fol.23, 6-4.fol.24). Zgodnie z tą normą wielkością mierzoną charakteryzującą drgania jest przyspieszenie drgań wyrażone w m/s^2. Do pomiarów wartości przyspieszenia służy miernik drgań (wibrometr) wyposażony w przetwornik drgań (najczęściej piezoelektryczny). Rolą przetwornika drgań jest przetwarzanie drgań mechanicznych na proporcjonalny sygnał elektryczny.

Punkty pomiarowe są lokalizowane na źródle drgań, w miejscach przekazywania drgań do organizmu człowieka narażonego. Przy pomiarze drgań ogólnych, przekazywanych przez stopy do organizmu pracownika wykonującego pracę w pozycji stojącej, punkt pomiarowy lokalizowany jest w ich bezpośrednim sąsiedztwie. Jeżeli drgania tego rodzaju są przekazywane do organizmu człowieka wykonującego pracę w pozycji siedzącej, punkt pomiarowy jest lokalizowany na siedzisku (6-4.fol.25).

Przy pomiarze drgań oddziałujących na organizm człowieka przez kończyny górne, punkty pomiarowe lokalizuje się w miejscach rzeczywistego kontaktu dłoni człowieka z narzędziem ręcznym, uchwytem, elementem sterowania itp., będącym źródłem drgań (6-4.fol.26).

Zarówno dla drgań ogólnych, jak i miejscowych pomiary przyspieszenia wykonuje się w trzech prostopadłych do siebie kierunkach *x, y, z* (układy odniesienia podane są w ww. normie).

Drgania ogólne są mierzone w zakresie częstotliwości 0,9 ÷ 90 Hz, natomiast drgania miejscowe w zakresie 5,6 ÷ 1400 Hz.

Oceny narażenia pracownika na drgania dokonuje się przez porównanie wyznaczonych na podstawie pomiarów równoważnych za 8 godzin wartości ważonych przyspieszenia drgań z ustalonymi dla tego czynnika wartościami dopuszczalnymi (6-4.fol.27). Jak już wyjaśniono wcześniej, przy wyznaczaniu równoważnych za 8 godzin wartości ważonych uwzględnia się zmierzone na stanowisku pracy wartości ważone przyspieszenia drgań oraz czas ekspozycji pracownika na drgania o zmierzonych wartościach.

Jak wynika z przytoczonych wcześniej tabel 1, 2, 3 i 4, wartości dopuszczalne dla drgań mechanicznych na stanowiskach pracy zależą nie tylko od rodzaju drgań (ogólne czy miejscowe) oraz charakteru drgań opisanego współczynnikiem szczytu *k*, ale też od kierunku drgań (składowe *x, y, z*) i płci osoby narażonej (6-4.fol.28). Zatem, w celu oceny narażenia

pracownika na drgania na danym stanowisku pracy, należy rozpatrzyć i uwzględnić wszystkie wymienione czynniki, tak aby do oceny wybrać prawidłową dla danych warunków wartość dopuszczalną (6-4.fol.29).

6-4.7. Metody ograniczania zagrożeń drganiami mechanicznymi

Minimalizowanie zagrożeń powodowanych drganiami mechanicznymi może być realizowane różnymi metodami. Najogólniej metody te można podzielić na metody techniczne i metody organizacyjno-administracyjne (6-4.fol.30).

W grupie metod technicznych można rozróżnić:

- minimalizowanie drgań u źródła ich powstawania (zmniejszanie wibroaktywności źródeł)
- minimalizowanie drgań na drodze ich propagacji
- automatyzację procesów technologicznych i zdalne sterowanie źródłami drgań.

Zmniejszenie wibroaktywności źródeł można osiągnąć ingerując w ich konstrukcję (minimalizacja luzów, poprawa wyrównoważenia elementów wirujących, eliminacja wzajemnych uderzeń elementów współpracujących i ich właściwy montaż, właściwe mocowanie maszyn do podłoża - fundamentowanie itp.) [1, 2, 5].

Tłumienie drgań na drodze ich propagacji uzyskuje się np. przez dylatację (separację) fundamentów maszyn i urządzeń od otoczenia, stosowanie materiałów wibroizolacyjnych w różnej postaci (maty, podkładki, specjalne wibroizolatory), a także przez stosowanie środków ochrony indywidualnej w postaci rękawic antywibracyjnych. Należy zaznaczyć, że stosowanie rękawic antywibracyjnych nie tylko ogranicza drgania transmitowane z narzędzi do rąk operatora, ale też zabezpiecza ręce przed niską temperatura i wilgocią, które to czynniki potęgują skutki oddziaływania drgań, przyspieszając rozwój zespołu wibracyjnego (6-4.fol.31, 6-4.fol.32, 6-4.fol.33).

Do technicznych metod ograniczania zagrożenia powodowanego drganiami mechanicznymi zalicza się także, jak już zaznaczono, automatyzację procesów technologicznych i zdalne sterowanie źródłami drgań. Metody te pozwalają oddalić pracowników z obszarów zagrożonych drganiami mechanicznymi, zmniejszają zatem ryzyko utraty zdrowia na skutek oddziaływania drgań.

Ograniczenie zagrożeń drganiami mechanicznymi przez stosowanie metod organizacyjno-administracyjnych to głównie:

- skracanie czasu narażenia na drgania w ciągu zmiany roboczej (6-4.fol.34)
- wydzielanie specjalnych pomieszczeń do odpoczynku
- przesuwanie do pracy na innych stanowiskach osób szczególnie wrażliwych na działanie drgań
- szkolenia pracowników w celu uświadomienia ich o występujących zagrożeniach powodowanych ekspozycją na drgania oraz w zakresie możliwie bezpiecznej obsługi maszyn i narzędzi.

Metody organizacyjno-administracyjne powinny być stosowane zwłaszcza tam, gdzie brak jest możliwości ograniczenia zagrożeń metodami technicznymi (6-4.fol.35).

W minimalizacji zagrożeń drganiami mechanicznymi niebagatelna rolę odgrywa także profilaktyka medyczna. Ma ona, przede wszystkim, na celu eliminowanie przy zatrudnianiu na stanowiska operatorów maszyn i narzędzi drgających osób, których stan czynnościowy organizmu odbiega od normy, gdyż odchylenia te pod wpływem drgań mogą ulegać pogłębieniu. W stosunku do osób już pracujących w warunkach narażenia na drgania, powinny być prowadzone badania okresowe w celu możliwie wczesnego wykrywania ewentualnych zmian chorobowych i przesuwania tych pracowników na stanowiska pracy bez narażenia na drgania (6-4.fol.36).

W praktyce w walce z zagrożeniami powodowanymi drganiami mechanicznymi najlepsze rezultaty daje stosowanie kilku wymienionych metod jednocześnie.

6-4.8. Literatura

1. Cempel Cz.: *Wibroakustyka stosowana.* Warszawa, PWN 1989.
2. Engel Z.: *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem.* Warszawa, PWN 1993.
3. Griffin M.J.: *Handbook of Human Vibration.* London, Academic Press 1990.
4. Harazin B.: *Drgania mechaniczne. Sosnowiec.* Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego 1996.
5. Koradecka D., Lipowczan A.: *Drgania mechaniczne (wibracje).* Bezpieczeństwo Pracy i Ergonomia, Red. D. Koradecka T.1., Warszawa, Centralny Instytut Ochrony Pracy, 1997, s. 323-372.
6. Koton J.: *Ryzyko zawodowe - ocena narażenia na drgania mechaniczne.* Bezpieczeństwo Pracy 1996, nr 12, s. 16-19.
7. Koton J., Kowalski P., Szopa J.: *Badania i ocena materiałów przeznaczonych do tłumienia drgań miejscowych.* Bezpieczeństwo Pracy 1997, nr 5.
8. Koton J., Kowalski P., Szopa J.: *Rękawice antywibracyjne - metoda badań i kryteria oceny.* Bezpieczeństwo Pracy 1997, nr 3.
9. Pelmear P.L., Taylor W., Wasserman D.E.: *Hand-Arm Vibration: Van Nostrand Reinhold.* New York 1992.
10. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 30 maja 1996 r. w sprawie przeprowadzania badań lekarskich pracowników, zakresu profilaktycznej opieki zdrowotnej nad pracownikami oraz orzeczeń lekarskich wydawanych do celów przewidzianych w Kodeksie pracy. Dz. U. 1996, nr 69, poz. 332.
11. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 9 lipca 1996 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dz. U. 1996, nr 86, poz. 394.
12. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 1996 r. w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom. Dz. U. 1996, nr 114, poz. 545.
13. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy. Dz. U. 1997, nr 129, poz. 844.
14. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 17 czerwca 1998 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz. U. 1998 Nr 79, poz. 513.
15. PN-N-01352: 1991 (PN-91/N-01352) *Drgania. Zasady wykonywania pomiarów na stanowiskach pracy.*
16. PN-N-01353: 1991 (PN-91/N-01353) *Drgania. Dopuszczalne wartości przyspieszenia drgań oddziałujących na organizm człowieka przez kończyny górne i metody oceny narażenia.*
17. PN-N-01354: 1991 (PN-91/N-01354) *Drgania. Dopuszczalne wartości przyspieszenia drgań o ogólnym oddziaływaniu na organizm człowieka i metody oceny narażenia.*
18. Broszura „Human Vibration”, Brüel&Kjaer, 1989.