

*górnictwo odkrywkowe, bezpieczeństwo pracy,
wibracja, choroby zawodowe*

Zbigniew NĘDZA*, Sebastian GOLA*, Barbara MADEJA - STRUMIŃSKA*

WCZESNA DIAGNOSTYKA CHOROBY WIBRACYJNEJ NA STANOWISKACH PRACY W ZAKŁADACH GÓRNICTWA SKALNEGO

W zakładach górnictwa skalnego w procesach produkcyjnych stosowane są narzędzia, maszyny oraz urządzenia wytwarzające drgania mechaniczne. Przy pracy nimi, zwłaszcza wiertarkami oraz młotkami pneumatycznymi, występuje niejednokrotnie przekroczenie wartości dopuszczalnych drgań, co można przedstawić poprzez obliczenie dopuszczalnego czasu ekspozycji, wynoszącego dla tych narzędzi od kilku do kilkudziesięciu minut. Dlatego też, przy tak dużym narażeniu pracowników na chorobę wibracyjną, istotnym problemem jest jej wczesna diagnostyka. Do rozwiązania tego problemu, zwłaszcza przy narażeniu na wibrację miejscową, może być zastosowana termowizja.

1. WSTĘP

W zakładach górnictwa skalnego na stanowiskach pracy przy wydobywaniu, obróbce oraz przeróbce stosowane są narzędzia, maszyny oraz urządzenia, których praca związana jest z występowaniem drgań mechanicznych. Przy wierceniu otworów stosowane są wiertarki pneumatyczne, przy obróbce bloków granitowych i produkcji formaków wykorzystuje się młotki pneumatyczne, w zakładach przerobczych ciągi technologiczne wyposażone są w kruszarki, przesiewacze oraz granulatory, prace transportowo załadunkowe realizuje się koparkami, spycharkami, ładowarkami oraz samochodami – praca nimi lub w ich sąsiedztwie związana jest z narażeniem na wibrację.

Drganiami mechanicznymi nazywa się oscylacyjny ruch układu mechanicznego wokół położenia równowagi. W przypadkach, gdy energia mechaniczna drgań przenosi się na człowieka, działa ona na narządy i tkanki jego organizmu. Oddziaływanie takie na organizm określane jest pojęciem wibracji. Drgania mechaniczne można podzielić w rozmaity sposób, zależnie od przyjętych kryteriów podziału. Z uwagi na fakt, że niekorzystny rodzaj zmian w organizmie człowieka będących następstwem ekspozycji na drgania oraz szybkość postępowania tych zmian

* Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, pl. Teatralny 2, 50-051 Wrocław,
e-mail: zbigniew.nedza@pwr.wroc.pl

zależą w istotnym stopniu od miejsca wnikania drgań do organizmu, drgania mechaniczne można podzielić na:

- drgania ogólne; drgania przenikające do organizmu człowieka przez nogi, miednicę, plecy lub boki,
- drgania miejscowe; drgania oddziałujące na organizm człowieka przez kończyny górne (praca zb. pod red. Zawieski, 1999).

Zgodnie z Konwencją nr 148 Międzynarodowej Organizacji Pracy, dotyczącą ochrony pracowników przed zagrożeniami zawodowymi w miejscu pracy spowodowanymi zanieczyszczeniami powietrza, hałasem oraz wibracjami, ratyfikowaną przez Polskę 4 listopada 2004 r. „właściwa władza ustali kryteria pozwalające na określenie stopnia narażenia pracowników na działanie wibracji w miejscach pracy i w razie potrzeby, określi na podstawie tych kryteriów granice dopuszczalnego narażenia (część III, artykuł 8 pkt. 1). Kryteria i granice dopuszczalnego narażenia będą ustalane, uzupełniane i rewidowane w regularnych odstępach czasu, w świetle aktualnej krajowej i międzynarodowej wiedzy oraz danych przy uwzględnieniu, w miarę możliwości, wzrostu zagrożeń zawodowych związanych z jednoczesnym narażeniem w miejscu pracy na działanie kilku czynników szkodliwych. W miarę możliwości każde zagrożenie spowodowane wibracjami powinno być eliminowane:

- a) poprzez rozwiązania techniczne w nowych urządzeniach lub w nowych procesach produkcyjnych w toku ich projektowania lub instalowania, albo poprzez usprawnienia techniczne istniejących już urządzeń lub procesów produkcyjnych,
- b) poprzez dodatkowe środki o charakterze organizacyjnym.

Jeżeli środki podjęte nie zredukują zagrożenia wibracjami w miejscach pracy do granic określonych przepisami, pracodawca dostarczy i będzie utrzymywał w dobrym stanie odpowiednie, indywidualne środki ochrony. Pracodawca nie może zobowiązać pracownika do wykonywania pracy bez indywidualnych środków ochronnych” (Dz. U. nr 66/2005, poz. 574).

Zgodnie z aktualnie obowiązującymi przepisami w przypadku występowania w środowisku pracy wibracji pomiary przeprowadza się:

- 1) co najmniej raz w roku – przy stwierdzeniu w ostatnio przeprowadzonym pomiarze krotności przekroczenia wartości dopuszczalnej drgań mechanicznych większej niż 0,5,
- 2) co najmniej raz na dwa lata – przy stwierdzeniu w ostatnio przeprowadzonym pomiarze krotności przekroczenia wartości dopuszczalnej drgań mechanicznych w zakresie 0,1 – 0,5 (Dz. U. nr 73/2005, poz. 645).

2. KRYTERIA OCENY ZAGROŻENIA NA STANOWISKACH PRACY DRGANIAMI MECHANICZNYMI

Pomiary drgań na stanowiskach pracy i porównanie wyznaczonych na podstawie pomiarów wartości z ustalonymi dla drgań wartościami dopuszczalnymi są podstawą do oceny stopnia narażenia pracowników na ten czynnik fizyczny.

Wartości pomiarowe przyspieszenia drgań dla drgań o oddziaływaniu miejscowym oraz ogólnym mierzy się zgodnie z przyjętym układem odniesienia, w którym osie układu orientuje w następujący sposób:

- oś Y - równoległa do linii ramion pracownika pracującego narzędziem udarowym lub kierunku jazdy pojazdu
- oś Z - równoległa do kierunku wyznaczonego przez oś kręgosłupa pracownika (oś narzędzia),
- oś X - prostopadła do osi Z.

Na podstawie wykonanych pomiarów oblicza się sumę wektorową średniokwadratowych wartości ważonych przyspieszenia drgań miejscowych oraz ogólnych dla poszczególnych składowych X, Y, Z odpowiednio z zależności:

$$a_{weki} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1)$$

oraz

$$a_{weki} = \sqrt{(1,4 a_x)^2 + (1,4 a_y)^2 + a_z^2} \quad (2)$$

gdzie:

a_x, a_y, a_z - wartości ważne przyspieszenia drgań dla poszczególnych składowych X, Y, Z, m/s^2 .

Wartość sumy wektorowej skutecznych, ważonych częstotliwościowo przyspieszeń drgań dla trzech składowych X, Y, Z przy 8 godzinnym działaniu drgań na organizm człowieka określa się ze wzoru:

$$a_{es8h} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n a_{weki}^2 \cdot t_i} \quad (3)$$

gdzie:

t_i - rzeczywisty czas oddziaływania na pracownika drgań, min,

T - czas trwania zmiany roboczej ($T = 8h = 480$ min).

Dopuszczalny czas oddziaływania drgań określa się z zależności:

$$T_{dop} = \left(\frac{a_{dop}}{a_{wek}} \right)^2 \cdot 480 \quad (4)$$

gdzie

a_{dop} - dopuszczalna wartość sumy wektorowej skutecznych, ważonych częstotliwościowo przyspieszeń drgań, m/s^2 .

Krotność przekroczenia NDN wyznacza się ze wzoru:

$$k = \frac{a_{es\ 8h}}{a_{dop}} \quad (5)$$

Drgania miejscowe oraz ogólne występujące na stanowisku pracy, powodują naruszenie sprawności psychofizycznej człowieka, gdy spełniona jest relacja:

$$T_{rzecz} > T_{dop} \quad (6)$$

Zgodnie z obowiązującymi przepisami drgania miejscowe oraz ogólne działające na organizm człowieka charakteryzowane są przez sumę wektorową skutecznych ważonych częstotliwościowo przyspieszeń drgań wyznaczonych dla trzech składowych kierunkowych X, Y, Z. Wartość dopuszczalna sumy wektorowej skutecznych, ważonych częstotliwościowo przyspieszeń drgań o oddziaływaniu miejscowym wynosi $2,8 \text{ m/s}^2$ natomiast dla drgań o oddziaływaniu ogólnym $0,8 \text{ m/s}^2$ przy ciągłym 8 godzinnym oddziaływaniu drgań na organizm człowieka (Dz.U. nr 217/2002, poz.1833).

3. WIBRACJA W ZAKŁADACH GÓRNICTWA SKALNEGO

Jak przedstawiono powyżej w zakładach górnictwa skalnego problem zagrożenia wibracją istnieje na wielu stanowiskach pracy, a zwłaszcza na stanowiskach górników skalników przy wierceniu otworów wiertarkami oraz kamieniarzy i kliniarzy przy obróbce elementów skalnych przy zastosowaniu młotków pneumatycznych (rys. 1.).



Rys. 1. Obróbka bloków skalnych
Fig. 1. Wedging of stone blocks

W tabelach 1–3 przedstawiono wyniki pomiarów oraz obliczeń wykonanych zgodnie z zależnościami 1–5 wibracji miejscowej dla 2 stanowisk pracy: górnika skalnika (tab. 1) i kamieniarza (tab. 2) oraz wibracji ogólnej dla stanowiska operatora wózka widłowego (tab. 3).

Jak wynika z przedstawionych obliczeń dla uzyskanych wartości ważonych przyspieszenia drgań na stanowisku górnik skalnik (przy wierceniu otworów wiertarką pneumatyczną WUP 22) przy czasie ekspozycji 120 minut, krotność przekroczenia NDN wynosi 3,65 natomiast dopuszczalny czas pracy 9 minut. Natomiast dla stanowiska kamieniarz (przy stosowaniu do groszkowania młotka pneumatycznego MK 8) dla uzyskanych wartości ważonych przyspieszenia drgań przy czasie ekspozycji 240 minut, krotność przekroczenia NDN wynosi 3,91, natomiast dopuszczalny czas pracy 16 minut.

Tabela 1
Wyniki pomiarów i obliczeń wibracji miejscowej dla stanowiska górnik skalnik

Oś	Seria	Wartość ważona przysp. drgań ($a_{w,zm}$) _i [m ² /s]	Suma wektorowa ważonych przyspieszeń drgań [m/s ²]	Czas narażenia [min]	Dopuszczalne wartości ważne przysp. drgań [m/s ²]	Równoważna za 8 godzin suma wektorowa ważonych przyspieszeń drgań [m/s ²]	Czas dopuszczalny [min]	Krotność przekroczenia NDN
X	I	6,7	20,441	120	2,8	10,221	9	3,65
	II	6,9						
	III	7,2						
	IV	7,2						
	V	7,7						
	VI	7,9						
Y	I	6,3						
	II	6,9						
	III	7,4						
	IV	7,4						
	V	7,6						
	VI	7,8						
Z	I	16,9						
	II	17,3						
	III	17,3						
	IV	17,9						
	V	18,2						
	VI	18,5						

Tabela 2

Wyniki pomiarów i obliczeń wibracji miejscowej dla stanowiska kamieniarz

Oś	Seria	Wartość ważona przysp. drgań ($a_{w,zm}$) _i [m ² /s]	Suma wektorowa ważonych przyspieszeń drgań [m/s ²]	Czas narażenia [min]	Dopuszczalne wartości ważne przysp. drgań [m/s ²]	Równoważna za 8 godzin suma wektorowa ważonych przyspieszeń drgań [m/s ²]	Czas dopuszczalny [min]	Krotność przekroczenia NDN
X	I	5,6	15,482	240	2,8	10,947	16	3,91
	II	5,6						
	III	5,8						
	IV	5,9						
	V	6,2						
Y	I	6,2						
	II	6,4						
	III	6,4						
	IV	6,7						
	V	6,7						
Z	I	12,1						
	II	12,5						
	III	12,9						
	IV	13,1						
	V	13,4						

Tabela 3

Wyniki pomiarów i obliczeń wibracji miejscowej dla stanowiska operator wózka widłowego

Oś	Seria	Wartość ważona przysp. drgań ($a_{w,zm}$) _i [m ² /s]	Suma wektorowa ważonych przyspieszeń drgań [m/s ²]	Czas narażenia [min]	Dopuszczalne wartości ważone przysp. drgań [m/s ²]	Równoważna za 8 godzin suma wektorowa ważonych przyspieszeń drgań [m/s ²]	Czas dopu- szczalny [min]	Krotność przekro- czenia NDN
X	I	0,26	1,311	150	0,8	0,733	179	0,916
	II	0,30						
	III	0,30						
	IV	0,35						
	V	0,37						
Y	I	0,81						
	II	0,84						
	III	0,88						
	IV	0,89						
	V	0,97						
Z	I	0,14						
	II	0,12						
	III	0,11						
	IV	0,09						
	V	0,07						

Przedstawione powyżej dla stanowisk górnika skalnika oraz kamieniarza wyniki obliczeń krotności przekroczenia NDN oraz dopuszczalnego czasu pracy wskazują na bardzo duże zagrożenie wibracją miejscową podczas realizacji czynności produkcyjnych na tych stanowiskach pracy. Dla stanowiska operatora wózka widłowego dla uzyskanych w wyniku pomiarów wartości ważonych przyspieszenia drgań przy czasie ekspozycji 150 minut krotność przekroczenia NDN wynosi 0,916, natomiast dopuszczalny czas pracy 179 minut

4. WCZESNA DIAGNOSTYKA CHOROBY WIBRACYJNEJ

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 szereg zaburzeń w organizmie, doprowadzając w konsekwencji do trwałych, nieodwracalnych zmian chorobowych, przy czym rodzaj tych zmian zależy od rodzaju drgań, na które ekspozycja jest człowiek (ogólne czy miejscowe).

Jak wykazano powyżej w zakładach górnictwa skalnego pracownicy (skalnicy, kamieniarze, kliniarze) narażeni są na oddziaływanie ponadnormatywnej wibracji miejscowej.

Narażenie na drgania mechaniczne przenoszone do organizmu przez kończyny górne powoduje głównie zmiany chorobowe w układach: krążenia krwi (naczyniowym), nerwowym i kostno - stawowym.

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 bladnięciem opuszki jednego lub więcej palców i stąd pochodzi jedno z potocznych określeń tej postaci zespołu wibracyjnego jako „choroby białych palców” (praca zb. pod red. Koradeckiej, 1979). W czasie napadu naczynioskurczowego stwierdza się całkowite zamknięcie lub zmniejszenie (do minimum) odżywczego przepływu skórnej krwi. Prowadzi to do tak znacznego upośledzenia procesów metabolizmu komórkowego, że w wyniku reakcji obronnej dochodzi do wywołania prawie maksymalnego rozszerzenia naczyń włosowatych (praca zb. pod red. Koradeckiej, 1979).

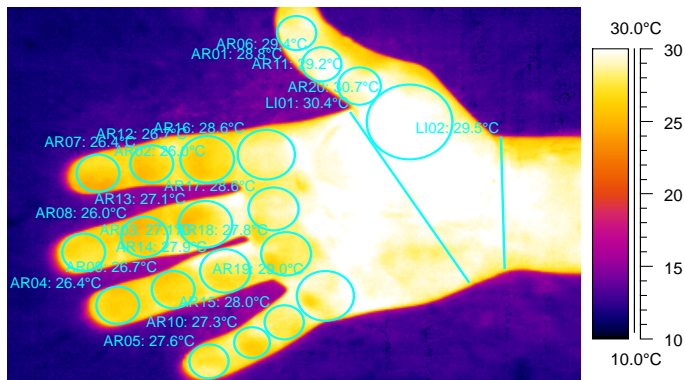
W praktyce rozpoznanie zespołu wibracyjnego niejednokrotnie dokonuje się w zaawansowanym stadium rozwoju choroby uniemożliwiającej podjęcie efektywnego leczenia. Dlatego też poszukuje się nowych metod badawczych, umożliwiających wczesną diagnostykę choroby wibracyjnej, a tym samym podjęcia profilaktyki zapobiegającej dalszemu rozwojowi choroby.

Wobec faktu, że zaburzeniom procesów metabolizmu komórkowego towarzyszą zmiany temperatury założono, że do wczesnego wykrywania i rozpoznawania etapu choroby wibracyjnej może być wykorzystana metoda oparta na badaniach termowizyjnych w podczerwieni, w zakresach: 3 - 5 μm oraz 8 - 12 μm długości fali elektromagnetycznej.

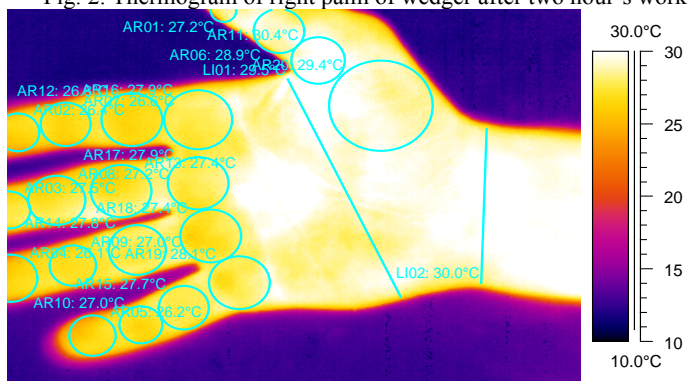
Wykorzystując kamerę termowizyjną typu ThermaCAMTM PM575 przeprowadzono wstępne badania pracowników jednej z kopalń granitu w rejonie Strzegomia. Celem badań było określenie przydatności techniki termowizyjnej do diagnostyki choroby wibracyjnej bezpośrednio na stanowiskach pracy. Badaniami objęto kliniarzy i kamieniarzy, łącznie 15 pracowników, o stażu pracy na stanowiskach oddziaływania wibracji miejscowej od 3 do 156 miesięcy.

Badanie polegało na określeniu zmian średnich temperatur powierzchni obu dłoni, będących miejscami bezpośredniego przekazywania drgań do organizmu. Za temperaturę odniesienia rejestrowanych zmian przyjęto temperaturę nadgarstka (praca zb. pod red. Koradeckiej, 1979). Pomiary termowizyjne przeprowadzono w dwugodzinnych cyklach zmiany roboczej bezpośrednio na stanowiskach pracy. Podczas wykonywania pomiarów temperatura powietrza atmosferycznego wynosiła 18°C, a wilgotność 45%.

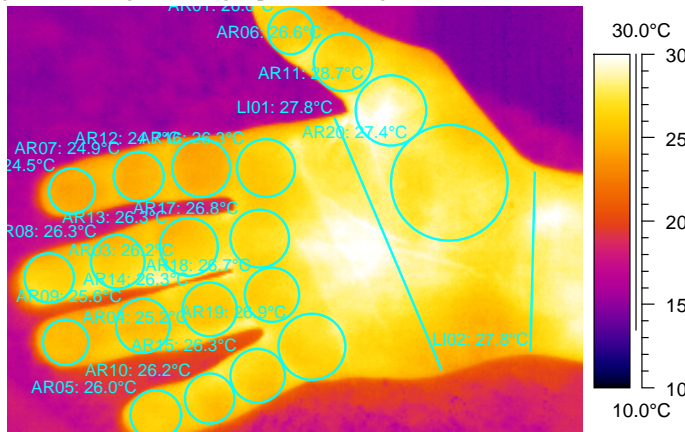
Na rysunkach 2 - 4 przedstawiono przykładowe termogramy pomiaru temperatury prawej dłoni kliniarza, zatrudnionego na danym stanowisku przez 11 lat.



Rys. 2. Termogram prawej dłoni kliniarza po dwóch godzinach pracy
 Fig. 2. Thermogram of right palm of welder after two hour's work

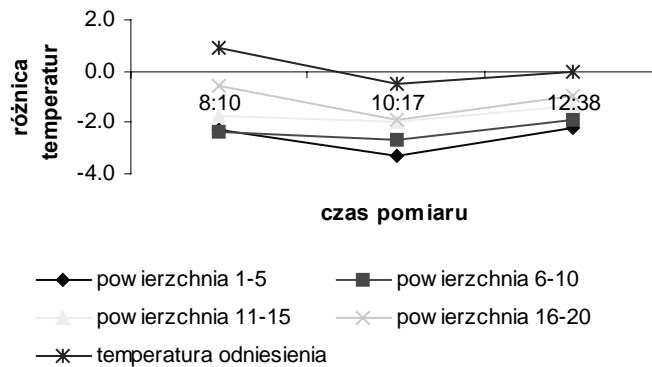


Rys. 3. Termogram prawej dłoni kliniarza po czterech godzinach pracy
 Fig. 3. Thermogram of right palm of welder after four hour's work



Rys. 4. Termogram prawej dłoni kliniarza po sześciu godzinach pracy
 Fig. 4. Thermogram of right palm of welder after six hour's work

Zmiany średnich temperatur powierzchni pomiarowych dłoni w porównaniu do temperatury odniesienia, w czasie ośmiogodzinnego dnia pracy, przedstawiono na rysunku 5. Niewielki wzrost średniej temperatury zaobserwowany na wykresie po godzinie 10, jest efektem półgodzinnej przerwy śniadaniowej pracownika.



Rys. 5. Zmiany średnich temperatur powierzchni prawej dłoni do temperatury odniesienia
Fig. 5. Changes of average temperatures of the right palm surface during the working shift

Wstępna analiza wyników badań termowizyjnych wykazała, że ciepłota skóry rąk badanych pracowników ulega obniżeniu w czasie zmiany roboczej o 1–1,5°C (rys. 5.).

W przeprowadzonych badaniach zaobserwowano również wpływ stażu pracy pracowników na zmiany temperatury skórnej dłoni.

Metoda termografii dla diagnostyki naczyniowej postaci zespołu wibracyjnego charakteryzuje się największą czułością i specyficznością, dlatego może być wykorzystywana w badaniach wstępnych i okresowych pracowników zatrudnionych w zakładach górnictwa skalnego, jak i w celach diagnostycznych oraz orzeczniczych.

5. PODSUMOWANIE

Przedstawiony przykład analizy wyników badań osób narażonych na działanie wibracji miejscowej w zakładach górnictwa skalnego potwierdza przydatność techniki termowizyjnej do diagnostyki stanów chorobowych.

Podczas wykonywania pomiarów wykazano szereg zalet zastosowania techniki termowizyjnej jako metody pomiarowej, z których należy wymienić:

- całkowicie nieinwazyjny charakter badań,
- nieszkodliwość dla badanego oraz przeprowadzającego badania,
- możliwość przeprowadzenia badań bezpośrednio na stanowiskach pracy,
- wielokrotność powtórzeń.

Analiza uzyskanych wyników wstępnie przeprowadzonych termowizyjnych pomiarów oddziaływania drgań mechanicznych na kończyny górne oraz zalety jakie

dają badania termowizyjne, stały się dla autorów podstawą zapoczątkowania szczegółowych badań do opracowania metody wczesnej diagnostyki choroby wibracyjnej na stanowiskach pracy. Opracowanie metody badań in situ, w znacznym stopniu przyczyni się do szybszej i tańszej kontroli szkodliwego oddziaływania drgań mechanicznych na organizm, a tym samym podejmowania efektywniejszych działań profilaktycznych ochrony pracowników.

LITERATURA

Praca zbiorowa pod redakcją KORADECKIEJ D.: *Bezpieczeństwo pracy i ergonomia*. Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 1979.

Praca zbiorowa pod redakcją ZAWIESKI W.M.: *Ocena ryzyka zawodowego. 1. Podstawy metodyczne*. Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 1999.

Konwencja nr 148 Międzynarodowej Organizacji Pracy dotycząca ochrony pracowników przed zagrożeniami zawodowymi spowodowanymi zanieczyszczeniami powietrza, hałasem i wibracjami (Dz. U. nr 66/2005, poz. 574).

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2005 r. w sprawie badań czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. nr 73/2005, poz. 645).

Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 roku w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. nr 217/2002, poz.1833).

surface mining, work safety, vibration, occupational disease

EARLY DIAGNOSTIC OF VIBRATION DISEASE ON THE WORK PLACE IN ROCK MINING QUERIES

In rock mining queries, tools and machines producing mechanical vibrations are used in the production process. While using them, especially drillers and pneumatic hammers, the exceeding of allowable values occur very frequently. It can be presented by calculating the allowable exposure time, which for these tools is from several to more than ten minutes. Therefore at such big exposure to the vibration disease, the early diagnostic is of critical importance. The thermovision may be used in order to solve this problem, especially in case of pointwise vibration.