

ODDZIAŁYWANIE DRGAŃ MIEJSCOWYCH NA ORGANIZM LUDZKI – OCENA ANALIZY DYNAMICZNEJ I ENERGETYCZNEJ

Marian Witalis DOBRY, Małgorzata WOJSZNIS

Instytut Mechaniki Stosowanej, Zakład Wibroakustyki i Bio-Dynamiki Systemów, PP
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, E-mail: Marian.Dobry@put.poznan.pl; Malgorzata.Miszczak@put.poznan.pl

Streszczenie

W pracy zaprezentowano analizę dynamiczną i energetyczną systemu człowiek-zmechanizowane narzędzie ręczne. Przedstawione przebiegi mocy chwilowej sprężystości pozwoliły określić miejsca największej koncentracji przepływu energii w badanym systemie. Wyniki analizy energetycznej zgadzają się z danymi medycznymi zebranymi dla osób pozostających pod długotrwałym wpływem drgań mechanicznych generowanych przez pracujące narzędzia. Analiza dynamiczna przeprowadzana w dziedzinie amplitud przyspieszeń drgań, jako wielkości kryterialnej, wykazała rozbieżności tej oceny. Analiza energetyczna wykazała zatem zgodność oceny wpływu drgań na organizm człowieka ze skutkami szkodliwego oddziaływania drgań wykazanymi w raportach medycznych w postaci uszkodzeń stawów kończyn górnych.

Słowa kluczowe: analiza dynamiczna, analiza energetyczna, zespół wibracyjny

INFLUENCE OF LOCAL VIBRATIONS ON A HUMAN BODY – ASSESSMENT OF DYNAMICAL AND ENERGY ANALYSES

Summary

The paper presents dynamical and energy analyses of a human – power hand-held tool system. The presented characteristics of instantaneous power of elasticity allowed to define points with the highest concentration of energy flow in the investigated system. The results of energy analysis are coherent with medical data gathered from people who had been exposed to vibrations generated by working tools for a very long time. The dynamical analysis in the domain of vibration acceleration amplitudes showed divergence in the evaluation. Hence, the energy analysis showed consistence in the assessment of influence of vibrations on a human body with the effects of damaging influence of vibrations showed in medical reports as damage to upper limb joints.

Keywords: dynamical analysis, energy analysis, Vibration induced White Finger disease

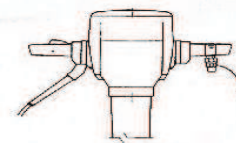
1. WPROWADZENIE

Rozwój techniki, szybsze tempo pracy, wzrost wydajności i masowość produkcji, spowodowały nasilenie i zwiększenie liczby czynników zagrażających zdrowiu i życiu człowieka.

Do takich niekorzystnych zjawisk zalicza się **drgania** towarzyszące każdemu procesowi wytwórczemu. Centralny Instytut Ochrony Pracy (CIOP) w dziale „Bezpieczeństwo i higiena pracy” definiuje drgania mechaniczne jako zespół zjawisk występujących na stanowiskach pracy, polegających na przekazywaniu energii ze źródła drgań od organizmu człowieka przez określone części ciała będące w kontakcie z drgającym źródłem w czasie wykonywania czynności zawodowych.

W pracy rozpatrywano drgania miejscowe, których źródłem jest między innymi Duże Zmechanizowane Narzędzie Ręczne (DZNR) wymagające użycia obu rąk w czasie pracy. Operator w czasie pracy takim narzędziem

przyjmuje postawę symetryczną, wyprostowaną przy kącie ugięcia stawów łokciowych 120° .



Rys. 1. Przykład uchwytów narzędzia ręcznego użytego do analizy

Przyjęty obiekt badań jest przykładem narzędzia ręcznego, w którym drgania powstające w czasie pracy narzędziem tego typu, są przyczyną powstawania zmian chorobowych noszących nazwę **zespołu wibracyjnego** mającego wielopostaciowy i nieswoisty charakter. **Zespół wibracyjny** należy do grupy chorób zawodowych, w której udział narażenia zawodowego jest wysoce prawdopodobny w odróżnieniu od grupy, w której powstanie choroby związane z warunkami pracy graniczy z pewnością (np. pylice płuc).

Energia wibracyjna, w zależności od miejsca wnikania do ustroju, może wywoływać różne symptomy rozwijających się zmian chorobowych. Niekorzystny wpływ drgań może, więc objawiać się po przez napadowe skurcze naczyń, zaburzenia czucia, zaburzenia błędnikowe, zmiany dystroficzne mięśni oraz tworzenie torbieli kostnych.

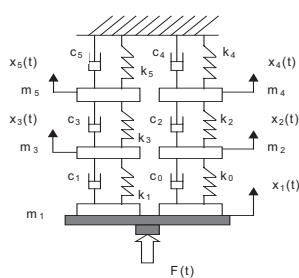
W celu zrozumienia zasad funkcjonowania, zmian stanu obciążeń dynamicznych i przewidywania poprawnego zachowania się systemu w czasie pracy niezbędna jest znajomość dynamiki układu.

Przez *dynamikę* rozumie się naukę o rzeczach zmieniających się w czasie i o siłach, które powodują te zmiany. Dotyczy to zarówno narzędzia, którego energia drgań jest czynnikiem patogenetycznym jak i człowieka obsługującego dane narzędzie.

Analizy dynamiczne prowadzone w dziedzinie amplitud przemieszczeń, prędkości i przyspieszeń odnoszone do kryteriów normowych nie dały jednoznacznych wyników mających odzwierciedlenie w notowanych zachorowaniach na zespół wibracyjny. Posłużono się, więc uogólnioną analizą dynamiczną wykorzystującą **I Zasadę Przepływu Energii w Systemie Mechanicznym** sformułowaną przez Dobrego [1, 2, 3, 4, 5]. Metoda ta pozwoliła sformułować zasady energetyczne szkodliwości narzędzi ręcznych i wskazania miejsc w organizmie ludzkim najbardziej narażonych na szkodliwy wpływ drgań w oparciu o wartości mocy lub dawki energii przekazywanej do człowieka.

2. MODEL FIZYCZNY I MATEMATYCZNY ANALIZOWANEGO UKŁADU CZŁOWIEK-MASZYNA

Analiza dynamiczna i energetyczna obiektu badań wymagała wpięrc zbudowania modelu fizycznego i matematycznego – patrz Rys. 2.



Rys. 2. Model fizyczny systemu Człowiek – Duże Zmechanizowane Narzędzie Ręczne

Parametry dynamiczne c_0 oraz c_i , $i = 1, 2, 3, 4$ i 5 są współczynnikami zastępczymi tłumienia dla poszczególnych punktów redukcji systemu związanych ze strukturą dynamiczną człowieka-operatora. Uwzględniono masę narzędzia i obu dłoni oznaczając ją wskaźnikiem 1 jako m_1 . Wskaźnik 2 i 3 odnosi się do punktów redukcji Przedramię-Łokieć (PŁ) dla których przyjęto odpowiednio masy m_2 i m_3 . Punkty Ramię-Bark (RB) posiadają zredukowaną masę m_4 i m_5 . Współczynniki zastępcze k_i - gdzie $i = 1, 2, 3, 4$ i 5 modelują sprężystość obu kończyn górnych.

Model matematyczny analizowanej struktury zbudowano z wykorzystaniem równań Lagrange'a II rodzaju i przedstawiono go w postaci równań:

$$m_1 \ddot{x}_1 + (c_0 + c_1) \dot{x}_1 + (k_0 + k_1)x_1 - c_0 \dot{x}_2 - k_0 x_2 - c_1 \dot{x}_3 - k_1 x_3 = F(t); \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + (c_0 + c_2) \dot{x}_2 + (k_0 + k_2)x_2 - c_0 \dot{x}_1 - k_0 x_1 - c_2 \dot{x}_4 - k_2 x_4 = 0; \quad (2)$$

$$m_3 \ddot{x}_3 + (c_1 + c_3) \dot{x}_3 + (k_1 + k_3)x_3 - c_1 \dot{x}_1 - k_1 x_1 - c_3 \dot{x}_4 - k_3 x_4 = 0; \quad (3)$$

$$m_4 \ddot{x}_4 + (c_2 + c_4) \dot{x}_4 + (k_2 + k_4)x_4 - c_2 \dot{x}_2 - k_2 x_2 = 0; \quad (4)$$

$$m_5 \ddot{x}_5 + (c_3 + c_5) \dot{x}_5 + (k_3 + k_5)x_5 - c_3 \dot{x}_3 - k_3 x_3 = 0; \quad (5)$$

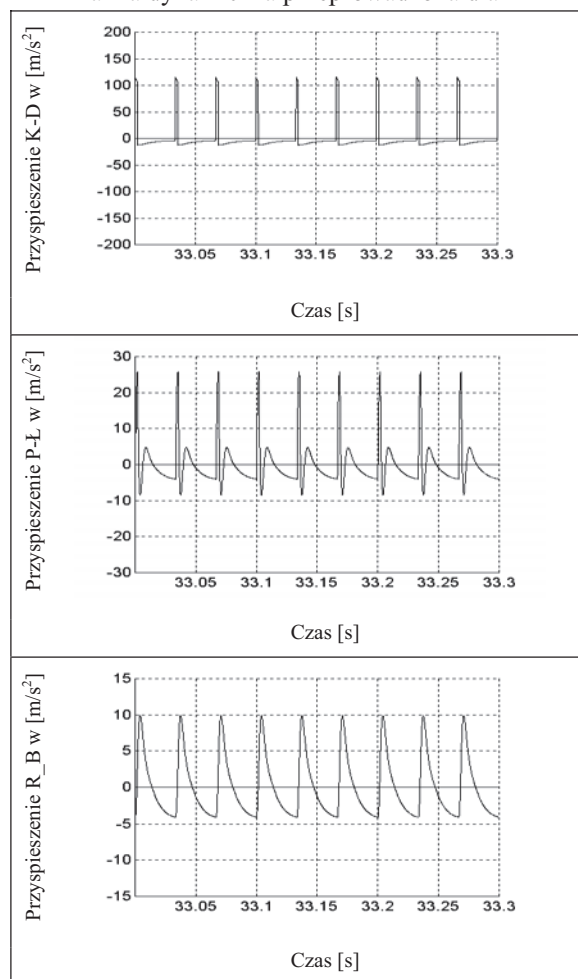
gdzie $F(t) = \sum_{i=1}^N S_i(t) \delta_T(t - t_i)$ - siły impulsowe,

uderzeniowe generowane przez narzędzie w czasie pracy oddziałujące na korpus narzędzia.

Rozwiązanie różniczkowych równań ruchu narzuciło konieczność zastosowania technologii informatycznych stosując Symulacyjny Program Dynamiki Systemu Człowiek - DZNR przy wykorzystaniu programu komputerowego MATLAB / simulink.

3. ANALIZA DYNAMICZNA BADANEGO SYSTEMU

Analiza dynamiczna przeprowadzona dla



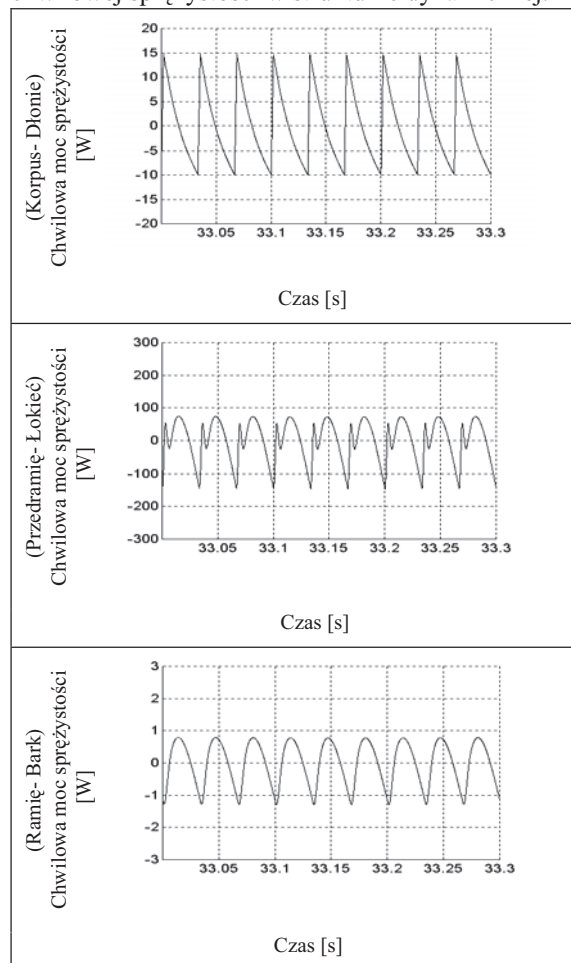
Rys. 3. Wartość przyspieszenia w postaci graficznej dla systemu C-DZNR wzdłuż kierunku „z” dla poszczególnych punktów redukcji

systemu Człowiek - Duże Zmechanizowane Narzędzie Ręczne, w którym narzędzie wymaga równoległego użycia obu rąk, wykazała różnorodność przebiegów w czasie symulacji wielkości charakterystycznych jak: przyspieszenie, prędkość, przemieszczenie. Wielkości te posiadają różne wartości i zróżnicowane przebiegi w czasie w zależności od punktu redukcji, który był badany. Znaczące różnice w wynikach symulacyjnych zaobserwowano dla przyspieszenia w poszczególnych punktach redukcji.

Analizę dynamiczną przeprowadzono symulacyjnie, w której przyjęto: masę narzędzia 10 kg i wymuszenie impulsowe (wysokość impulsu 1200 N, czas – 2 ms). Z analizy tej wynika, że największa amplituda przyspieszenia występuje w punkcie redukcji Korpus-Dłonie, czyli najbliższej narzędzia, a najniższa w punkcie Ramię- Bark.

4. ANALIZA ENERGETYCZNA W UKŁADZIE CZŁOWIEK- MASZYNA

Analiza energetyczna badanego systemu biomechanicznego polegała m.in. na zbadaniu mocy chwilowej sprężystości w strukturze dynamicznej.



Rys. 4. Strukturalny rozdział mocy chwilowej sprężystości w systemie C-DZNR dla poszczególnych punktów redukcji

Zdecydowano się na zbadanie mocy sprężystości, gdyż ocenia ona obciążenie struktury sprężystej i w odniesieniu do człowieka istotnie wpływa na elementy sprężyste takie jak: mięśnie, ścięgna, torebki stawowe czy układ kostny.

Z analizy tej wynika, że chwilowa moc sprężystości w punkcie Przedramię-Łokieć ma wartość największą, a w punkcie Ramię-Bark najmniejszą. Zatem miejscem największej jej koncentracji i szkodliwości na organizm człowieka jest punkt redukcji Przedramię-Łokieć.

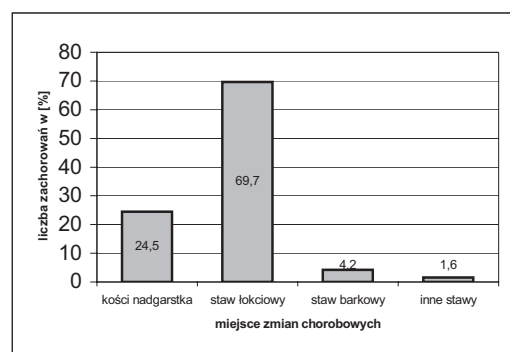
5. ZESPÓŁ WIBRACYJNY - ZABURZENIA W UKŁADZIE KOSTNO-STAWOWYM

Zespół wibracyjny wywołany miejscowym działaniem drgań mechanicznych uwzględnia następujące postacie: naczyniową, naczyniowo-nerwową, kostną, kostno-stawową i mieszaną.

W pracy zdecydowano się porównać wyniki medyczne odnoszące się do osób zapadających na chorobę wibracyjną z wynikami symulacyjnymi analizy dynamicznej i energetycznej. Wzięto pod uwagę postać kostno-stawową zespołu wibracyjnego jako najbardziej skojarzoną z mocą sprężystości.

Literatura podaje, że drgania mechaniczne mogą powodować zmiany radiologiczne jak: torbiele, martwice, przewlekłe złamania, endostozy, zmiany zwyrodnieniowo-zniekształcające. Najczęściej zmiany te umiejscawiają się w kościach i stawach nadgarstka oraz w stawie łokciowym.

Dane medyczne donoszą, że największy procent osób poddanych drganiom miejscowym zapada na choroby związane ze zmianami w stawie łokciowym [11]. Częstość występowania zaburzeń i zmian zwyrodnieniowych w układzie kostno-stawowym u osób poddanych drganiom miejscowym prezentuje rys. 5.



Rys. 5. Umiejscowienie zaburzeń w układzie kostno-stawowym w odniesieniu do osób przebadanych, u których takie zaburzenia wystąpiły [11]

Takie zestawienie wyników może świadczyć o tym, że podejście energetyczne jest właściwsze niż analiza dynamiczna. Chwilowa moc sprężystości wskazała, że miejscem najbardziej obciążonym energetycznie jest staw łokciowy, co potwierdzają dane medyczne. Na liczbę przebadanych osób poddanych długotrwałemu działaniu drgań

mechanicznych, aż prawie 70 % stanowią uszkodzenia stawu łokciowego.

6. WNIOSKI

Analiza energetyczna wykazuje lepszą zgodność z medycznymi danymi oddziaływania drgań i okazała się analizą właściwszą niż dynamiczna we wskazaniu miejsc najbardziej narażonych na szkodliwy wpływ drgań, wykazujących zaburzenia funkcjonowania i uszkodzenia.

Miejsca największego obciążenia energetycznego wskazane przez analizę energetyczną pokrywają się z wynikami badań medycznych przeprowadzonymi na operatorach zmechanizowanych narzędzi ręcznych [11].

Całkowita moc chwilowa w systemie człowiek-narzędzie zawiera w sobie moc bezwładności, strat i sprężystości. Analiza wyników medycznych wskazuje na konieczność rozpatrywania różnych rodzajów mocy chwilowych osobno. Jak wykazały przeprowadzone badania chwilowa moc sprężystości może być skojarzona z uszkodzeniami elementów sprężystych, czyli z zaburzeniami w układzie kostno-stawowym, co jest zgodne z wynikami przedstawionymi w [10].

LITERATURA

- [1] Dobry M.W.; "Energy flow in a power-unit of hand-held impact tools with vibroisolation of feed force realised by WoSSO System", W: Ninth World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms. Proceedings. Politecnico di Milano, Italy, August 29 – September, 1995, 2, Vol. 4, s.2765-2769;
- [2] Dobry M.W.; „Zasada przepływu energii jako podstawa uogólnionej analizy dynamicznej systemu mechanicznego”, Raport wewnętrzny nr 265, Instytut Mechaniki Stosowanej Politechniki Poznańskiej, Poznań, maj 1996;
- [3] Dobry M.W.; "Energy flow in Man –Tool – Base System", Lecture Notes of the ICB Seminars, Vol.29, International Centre of Biocybernetics, s. 35-56. Warszawa, czerwiec 1996;
- [4] Dobry M. W.; "Energy flow in Human - Tool - Base System (HTBS) and its Experimental Verification", W: Proceedings, Eighth International Conference on Hand-Arm Vibration 9-12 June, 1998, National Institute for Working Life, Department of Technical Hygiene, Umeå 1998, pp. 9-10, Sweden;
- [5] Dobry M. W.; Optymalizacja przepływu energii w systemie Człowiek - Narzędzie - Podłoże (CNP), Rozprawa habilitacyjna, Seria „Rozprawy” nr 330. ISSN 0551-6528, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań, marzec 1998;
- [6] Dobry M. W., Mischczak M. (Wojsznis); "Dynamiczny model systemu człowiek-maszyna w przypadku posługiwania się dużymi narzędziami zmechanizowanymi", ACTA of BIOENGINEERING and BIOMECHANICS, Vol. 2, Supplement 1, 2000, Oficyna Wyd. Polit. Wrocławskiej, Wrocław 2000, pp. 125-130;
- [7] Dobry M. W.; "Energy diagnostics and assessment of dynamics of mechanical and biomechanics systems". Machine Dynamics Problems 2001, Vol. 25, No. ¾ Warsaw University of Technology, Warsaw 2001, pp. 35-54;
- [8] Dobry M.W.; Energy analysis of biomechanical systems, STUDIA I MATERIAŁY LIII, TECHNIKA 3, Współczesne problemy techniki, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego, Zielona Góra 2003, s. 137-158;
- [9] Wojsznis (Mischczak) M. , Dobry M. W.: „ The influence of positioning of hands on energy quantities Meltzer model”, XXI Symposium Vibrations in Physical Systems, Poznań-Kiekrz, maj 26- 29, 2004, pp. 419- 422;
- [10] Dobry M. W.: „Dependence of energy flow and damages of human body exposed on hand-arm vibration”, XXI Symposium Vibrations in Physical Systems, Poznań-Kiekrz, 26-29.05.04, pp. 127- 130;
- [11] Markiewicz L., „Fizjologia i higiena pracy”, Inst. Wyd. CRZZ, Warszawa 1980;
- [12] Marek K.; „Choroby zawodowe”, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2003;

Marian Witalis DOBRY – informacje o Autorze na stronie nr 146.

Mgr Małgorzata WOJSZNIS - asystent w Instytucie Mechaniki Stosowanej PP. Specjalizacja: mechanika, drgania i dynamika maszyn. Badania z zakresu rozdziału mocy i przepływu energii w systemie człowiek – zmechanizowane narzędzie ręczne.