

Andrzej Dąbrowski, Tomasz Tokarski
Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

OBSŁUGA MASZYN RĘCZNYCH Z NAPĘDEM ELEKTRYCZNYM – OBCIĄŻENIE UKŁADU MIĘŚNIOWO-SZKIELETOWEGO

HAND HELD ELECTRIC TOOLS OPERATION - THE WORKLOAD OF MUSCULOSKELETAL SYSTEM

Streszczenie: Zapotrzebowanie na maszyny ręczne, w tym z napędem elektrycznym, wzrastało na świecie średnio o 4,4% każdego roku osiągając w 2015 roku wartość ok. 27,3 mld USD. Stosowanie tych maszyn powoduje powstawanie zagrożeń dla układu mięśniowo szkieletowego. Na kończyny górne operatora przenoszone są momenty obrotowe (tzw. momenty utyku – np. skutek zakleszczenia narzędzia w materiale obrabianym). Podczas badań symulowano obciążenie mięśni operatorów, trzymających za uchwyty pracujące dwa rodzaje wiertarek elektrycznych (o różnej mocy). Moment przenoszony na ręce operatorów powstawał na skutek zahamowania ruchu narzędzi przez hamownię. Do badań zastosowano aparaturę służącą do pomiaru aktywności elektrycznej mięśni – elektromiografię powierzchniową (sEMG). Badano obciążenie mięśni przedramienia, ramienia i obręczy barkowej - lewej i prawej części ciała. Zaobserwowano różne wartości obciążenia mięśni w zależności od pionowego i poziomego ustawienia maszyny ręcznej oraz od sposobu trzymania wiertarki za uchwyty (jedną ręką, oburącz). Dla ustalonych momentów generowanych przez maszyny, wybrane mięśnie miały większe obciążenie w odniesieniu do pozostałych. Przy projektowaniu i stosowaniu maszyn ręcznych na stanowiskach pracy należy brać pod uwagę najbardziej niekorzystne warunki obciążenia. Uwzględnienie takich warunków pozwoli zapobiec powstawaniu dolegliwości lub urazów układu mięśniowo – szkieletowego operatorów.

Abstract: Demand for hand-held power tools, including electric tools rose in the world on average by the 4.4% per year, achieving in 2015 the value of ca. 27.3 billion USD. The use of these machines causes the risk for musculoskeletal system. Torques are being transferred to upper limbs of the operator (so called pull-out torque - e.g. the effect of tool jam in the workpiece). During the tests loads of operators muscles was simulated, during holding by handles of two working types of hand held electric drills (with different power). The torque transferred to the operators hands was the result of tools move being stopped on the engine test bench. The testing apparatus was used to measure electric activity of the muscles – surface electromyography (sEMG). There were measured load of the muscles of the forearm, arm and shoulder girdle - the left and right parts of the body was recorded. Different values of muscle load were observed, depending on the vertical and horizontal position of the hand-held machine and the way of holding the drill grips (one hand, both hands). For fixed moments generated by the machines, the selected muscles had greater workload in relation to others. Therefore, when designing and applying these machines at workplaces the most unfavorable load conditions should be taken into account. It will help to prevent musculoskeletal disorders or injuries of the operators.

Słowa kluczowe: maszyny ręczne z napędem elektrycznym, obciążenie mięśni, sEMG

Keywords: hand held electric tools, muscles load, sEMG

1. Wstęp

Użytkowanie maszyn ręcznych z napędem elektrycznym powoduje zwiększenie wydajności pracy ze względu na ich małą masę, a tym samym mobilność. Daje to pracownikom możliwość wykonywania prac w różnych miejscach, bez konieczności organizowania nowych stanowisk pracy wyposażonych w maszyny stacjonarne. Maszyny ręczne (głównie z napędem elektrycznym), są powszechnie stosowane zarówno w zakładach pracy, jak i w gospodarstwach domowych. Zapotrzebowanie na maszyny ręczne na świecie wzrastało średnio

o 4,4% [1] osiągając w 2015 roku wartość ok. 27,3 mld USD. Stosowanie tych maszyn powoduje jednak powstawanie zagrożeń dla układu mięśniowo szkieletowego. Na kończyny górne operatora przenoszone są momenty obrotowe (tzw. momenty utyku), które mogą wystąpić jako skutek zakleszczenia narzędzia w obrabianym materiale. W artykule przedstawiono wyniki badań, w których symulowano obciążenie mięśni operatorów, trzymających wiertarki elektryczne za uchwyty. Moment przenoszony na ręce operatorów powstawał na skutek

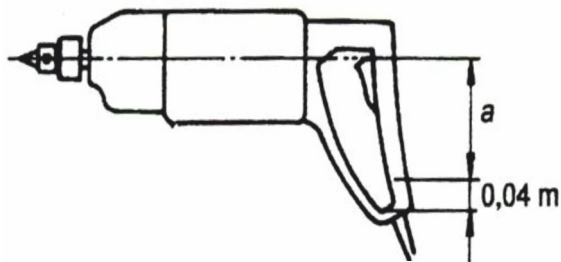
zahamowania ruchu obracających się narzędzi przez hamownię.

2. Obciążenia układu mięśniowo - szkieletowego operatorów maszyn - teoria i praktyka

2.1. Wytyczne zawarte w normach zharmonizowanych

Dla maszyn ręcznych z napędem elektrycznym, w tym dla wiertarek, opracowane zostały normy typu C z zakresu bezpieczeństwa użytkownika [2]. Norma dla wiertarek określa dopuszczalne momenty obrotowe maszyn w zależności od sposobu trzymania (za jeden uchwyt lub za dwa uchwyty).

Na rysunku 1 przedstawiono przykład określania parametrów do obliczenia dopuszczalnego momentu obrotowego wiertarki ręcznej M_{Rmax} z jednym uchwytem.



Rys. 1. Sposób określenia parametrów do obliczenia dopuszczalnego momentu obrotowego wiertarki z jednym uchwytem: a – odległość punktu charakterystycznego uchwytu tylnego wiertarki od osi uchwytu wiertła [2]

Dopuszczalny moment obrotowy wiertarki z jednym uchwytem obliczany jest ze wzoru (1):

$$M_{Rmax} = (400 \cdot a) \text{ Nm} \quad (1)$$

gdzie:

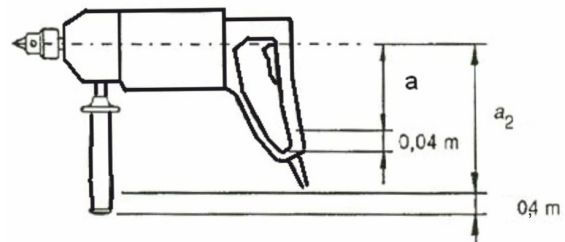
a - odległość punktu charakterystycznego uchwytu tylnego wiertarki od osi uchwytu wiertła [m].

Na rysunku 2 przedstawiono przykład określania parametrów do obliczenia dopuszczalnego momentu obrotowego wiertarki ręcznej M_{Rmax} z dwoma uchwytami. Dopuszczalny moment obrotowy wiertarki z dwoma uchwytami obliczany jest ze wzoru (2):

$$M_{Rmax} = (400 \cdot a_2) \text{ Nm} \quad (2)$$

gdzie:

a_2 - odległość punktu charakterystycznego uchwytu przedniego wiertarki od osi uchwytu wiertła [m].



Rys. 2. Sposób określenia dopuszczalnego momentu obrotowego wiertarki z dwoma uchwytami: a i a_2 – odległości od osi uchwytu wiertła odpowiednio punktów charakterystycznych uchwytu tylnego i przedniego wiertarki

2.2. Dotychczasowe badania obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego operatorów maszyn ręcznych

Publikacje dotyczące tematyki niniejszego artykułu omawiają badania operatorów maszyn ręcznych przy zastosowaniu różnych momentów obrotowych (obciążających).

W badaniach [3] maksymalne momenty obciążające podczas ich użytkowania wynosiły 85 Nm dla urządzenia trzymanego oburącz. Moment był generowany cyklicznie przez bardzo krótki czas, a prawa ręka trzymała urządzenie na ramieniu około 300 mm. Podczas badań uzyskano obciążenie na poziomie około 15% MVC (maksymalnego napięcia mięśniowego – maximum voluntary contraction) dla mięśnia czworobocznego, natomiast już na poziomie około 60% mięśni prostowników nadgarstka.

Wyniki badań wskazują również, że wartości momentów obciążających na poziomie 72-74 Nm powodują znaczne obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego szczególnie w przypadku, gdy rozłączanie napędu w przypadku zakleszczenia się narzędzia następuje powoli lub z opóźnieniem [5].

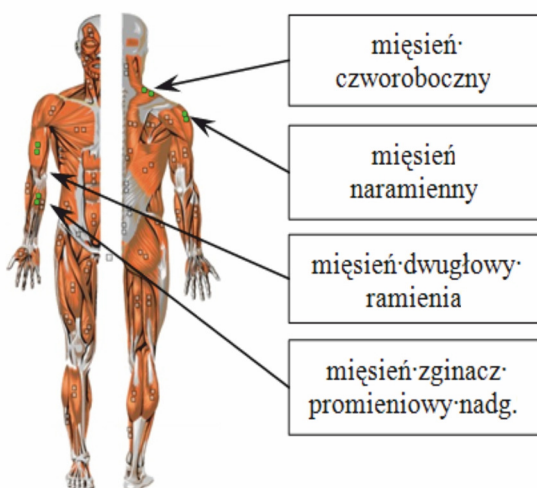
Stwierdzono również, że w przypadku maszyn ręcznych dostosowanie kształtu narzędzia ma znaczenie nie tylko ze względu na jego estetykę i wygodę pracy, ale także ze względu na obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego ręki, a nawet całej kończyny górnej.

3. Badania przeprowadzone z udziałem operatorów wiertarek z napędem elektrycznym

3.1. Osoby badane

W badaniach uczestniczyła grupa 20 zdrowych mężczyzn w wieku 20-30 lat. Oprócz wieku kryteriami doboru osób do badań były: wysokość (1,7–1,8 m) i masa ciała (61-86 kg),

współczynnik BMI (body mass index: $18,5 < \text{BMI} < 25$; $\text{MI} = \text{masa}[\text{kg}] / \text{wysokość}[\text{m}]^2$). Wykonano badania obciążenia wybranych mięśni przedramienia, ramienia i obręczy barkowej (rys. 3). Badano następujące mięśnie: czworoboczny część górna (trapezius pars descendence), naramienny część środkowa (deltoideus pars mediale), dwugłowy ramienia głowa długa (biceps brachii – caput longum), zginacz promieniowy nadgarstka (flexor carpi radialis).



Rys. 3. Miejsce przyczepu elektrod EMG dla badanych mięśni

Wybrane do badań mięśnie są odpowiedzialne za utrzymanie kończyny górnej w ustalonej do badań pozycji (mięsień czworoboczny i naramienny) oraz za obsługę maszyny – utrzymanie jej (mięsień dwugłowy ramienia) i włączenie (mięsień zginacz promieniowy nadgarstka).

3.2. Maszyny zastosowane do badań

Parametry techniczne zastosowanych wiertarek podano w tablicy 1.

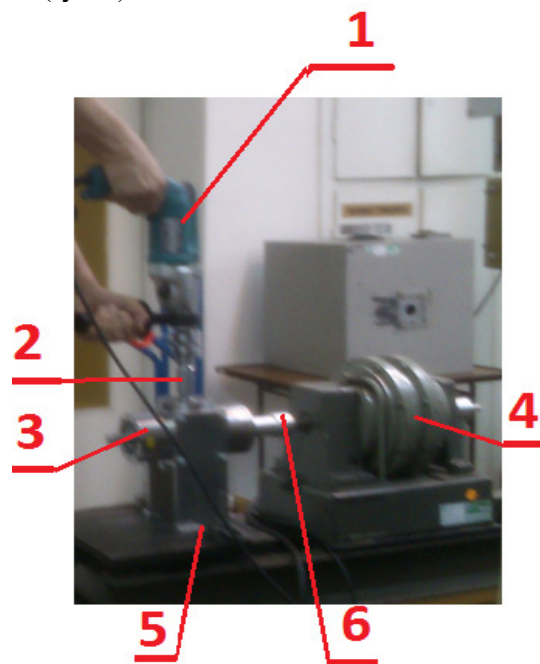
Tablica 1. Dane techniczne wiertarek

Parametr	Dane techniczne
Wiertarka o mniejszej mocy	
Moc	720 W
Prędkość bez obciążenia	maks.2900 obr/min (regulowana)
Masa netto	2,5 kg
Sprzęgło przeciążeniowe	nie
Wiertarka o większej mocy	
Moc	800 W
Prędkość bez obciążenia	maks.1000 obr/min (regulowana)
Masa netto	3,4 kg
Sprzęgło przeciążeniowe	tak

Istotne dla badań różnice między wiertarkami dotyczyły: mocy i budowy, a także zastosowanych przez producenta mechanizmów zabezpieczających operatorów.

3.3. Wyposażenie do badań i pomiarów

Badania obciążenia mięśni operatorów wykonano na stanowisku laboratoryjnym (hamowni) symulującym obciążenie mięśni operatorów na skutek zahamowania ruchu narzędzia – wiertarek (rys. 4).



Rys. 4. Stanowisko badawcze: 1 - wiertarka, 2 – element sprzęgający narzędzie i przekładnię, 3 – kątowna przekładnia, 4 - hamownia, 5 – podstawa przekładni, 6 - element sprzęgający przekładnię z hamownią

Maksymalny możliwy do uzyskania moment hamowania to 10 Nm. Zastosowana przekładnia kątowna (przełożenie 1/1) umieszczona pomiędzy wiertarką i hamownią umożliwiła wykonanie badań przy poziomym i pionowym ustawieniu maszyny. Do badań obciążenia zastosowano aparaturę służącą do pomiaru aktywności elektrycznej mięśni (sEMG). Podczas badania rejestrowana była aktywność elektryczna (EMG) wybranych mięśni (opisanych w p. 3.1), a po przeprowadzeniu badań wartość obciążenia została określona w odniesieniu do ich maksymalnych możliwości zmierzonych przed badaniami (MVC – maksymalnego napięcia mięśniowego – maximum voluntary contraction). System pomiarowy składał się z przyklejonych do skóry nad badanym mięśniem elektrod EMG podłączonych do przedwzmacniaczy z wbudo-

wanym nadajnikiem sygnału do rejestracji i przesyłania sygnału, nadajnika zbiorczego do zbierania i przesyłania sygnału zbiorczego ze wszystkich badanych mięśni oraz odbiornika sygnału podłączonego przez port USB do komputera z oprogramowaniem.

3.4. Metodyka badań

Podczas badania rejestrowano sygnał elektryczny z 8 mięśni – po 4 dla lewej i prawej części ciała. Elektrody EMG zostały umieszczone na skórze bezpośrednio nad badanym mięśniami. Podczas poszczególnych pomiarów każdy z badanych miał za zadanie, przez okres 3 sekund, utrzymać maszynę za uchwyt/uchwyty, która obciążała jego mięśnie poprzez moment powstający na skutek zahamowania ruchu narzędzi przez hamownicę. Moment hamowania był odczytywany na hamowni. Badania wykonano na dwóch wiertarkach, o większej i o mniejszej mocy, przy poziomym i pionowym ustawieniu maszyn (czyli w położeniach najczęściej występujących w rzeczywistych warunkach użytkowania). Zmianie podczas badań ulegał także sposób trzymania wiertarek – jedną ręką za uchwyt oraz oburącz za dwa uchwyty.

Wartości maksymalnych momentów hamujących przenoszonych na ręce operatora uwzględniały techniczne ograniczenia stosowanych maszyn, głównie wynikające z mocy silnika albo progów zadziałania sprzęgła rozłączającego napęd narzędzia. Brano także pod uwagę możliwości fizyczne osób badanych (możliwe zagrożenia). Te wartości zostały ustalone na podstawie wstępnych badań doświadczalnych wykonanych na hamowni. Wartości momentów hamujących (M_h) ustalonych doświadczalnie (od 2 do 10 Nm) oraz obliczonych (M_{Rmax}) na podstawie normy [2] (od 48 do 77 Nm) podano w tablicy 2.

Tablica 2. Wartości momentów hamujących ustalonych doświadczalnie oraz obliczonych na podstawie wytycznych normy [2]

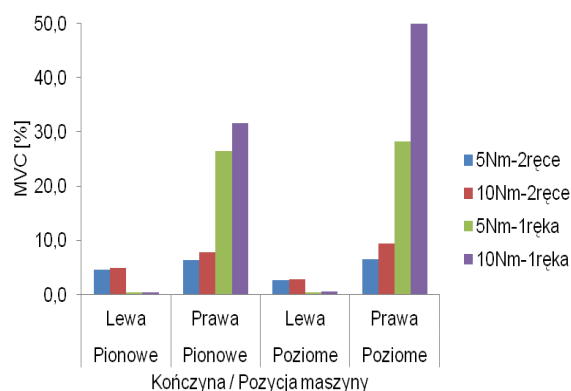
L.p.	Rodzaj maszyny ręcznej	Sposób trzymania	M_{Rmax}^* [Nm]	M_h^{**} [Nm]
1	Wiertarka o mniejszej mocy	za jeden uchwyt	57	5 i 2
		za dwa uchwyty	56	
2	Wiertarka o większej mocy	za jeden uchwyt	48	10,0 i 5,0
		za dwa uchwyty	77	

* wartości momentów hamujących ustalonych doświadczalnie i stosowanych podczas badań

** wartości maksymalnych momentów hamujących obliczonych na podstawie wytycznych normy [2]

4. Wyniki badań

Ze względu na charakter pracy wiertarką badane mięśnie były w różnym stopniu obciążone. Największe obciążenie wykazywał mięsień dwugłowy ramienia. Jak to przedstawiono na rysunku 5 w przypadku trzymania jedną ręką wiertarki ustawionej poziomo i hamowanej momentem 10 Nm obciążenie MVC wynosiło 50%.

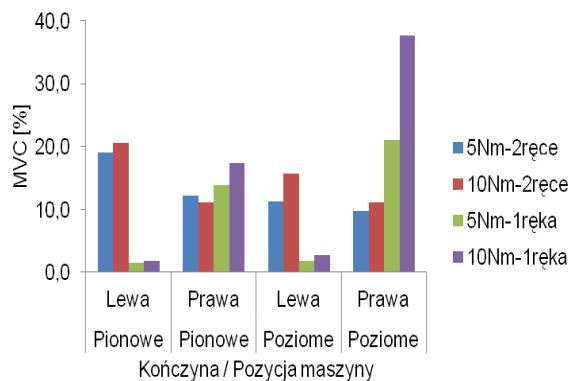


Rys. 5. Średnie obciążenie mięśnia dwugłowego ramienia - głowa długa kończyn górnych operatorów przy obsłudze oburęcznej i jednoręcznej wiertarki o większej mocy - moment hamujący 10 Nm i 5 Nm

Stosunkowo duże obciążenie występowało także w przypadku mięśnia zginacza promienowego nadgarstka.

W prawej kończynie górnej podczas trzymania jedną ręką wiertarki ustawionej poziomo hamowanej momentem 10 Nm obciążenie dochodziło do 40 % MVC (rys. 6). Podczas trzymania wiertarki oburącz większe obciążenie występuje w mięśniach znajdujących się w lewej kończynie górnej, zwłaszcza dotyczy to pionowego ustawienia maszyny podczas badań.

W przypadku pozostałych badanych mięśni tj.: naramiennego - część środkowa oraz czworobocznego - część górna obciążenie nie przekraczało 10% MVC.



Rys. 6. Średnie obciążenie zginacza promienowego nadgarstka kończyn górnych operatorów przy obsłudze oburęcznej i jednoręcznej wiertarki o większej mocy - moment hamujący 10 Nm i 5 Nm

5. Podsumowanie

Badania potwierdziły istotne zwiększenie obciążenia mięśni podczas obsługi wiertarki trzymanej jedną w porównaniu do trzymania wiertarki oburącz. Podczas badań zarejestrowano wzrost obciążenia mięśni proporcjonalny do wzrostu momentu obciążającego. W przypadku trzymania wiertarki oburącz obciążenie lewej kończyny górnej było większe niż prawej. Taki układ obciążenia wynika z faktu trzymania przycisku uruchamiającego wiertarkę prawą ręką (funkcja sterowania nie wymaga użycia dużych sił) oraz położenia lewej ręki na uchwycie wiertarki bliżej miejsca „wiercenia” – w takim przypadku lewą ręką łatwiej jest utrzymać wiertarkę we właściwej pozycji.

Podczas badań większe obciążenie mięśnia dwugłowego ramienia podczas trzymania

wiertarki poziomo, może wynikać z konieczności utrzymania masy samej wiertarki.

Z przeprowadzonych badań [5] wynikają istotne obciążenia niektórych mięśni, które trzeba brać pod uwagę podczas pracy operatorów wiertarek ręcznych.

6. Literatura

- [1]. EU Consult. Analiza sektora narzędziowego w powiecie bytowskim. Strategia i kwalifikacje – nasze narzędzia na zmiany w gospodarce. Projekt realizowany w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego. Priorytet VIII Regionalne kadry gospodarki. 8.1.2 Wsparcie procesów adaptacyjnych i modernizacyjnych w regionie Program operacyjny Kapitał ludzki. Gdańsk, sierpień 2011. [Internet] http://www.powiatbytowski.pl/download/sektor_narzedziowy.pdf. [dostęp: 03.02.2016 r.].
- [2]. PN-EN 60745-2-1:2010 Narzędzia ręczne o napięciu elektrycznym - Bezpieczeństwo użytkowania - Część 2-1: Wymagania szczegółowe dotyczące wiertarek i wiertarek udarowych.
- [3]. Forsman M., Cyren H., Moller T., Kadefors R., Mathiassen S.E.: Activity in five muscles during joint securing using pneumatic nutrunners. *International Journal of Industrial Ergonomics* 29 (2002) 21–32.
- [4]. Mirka G.A., Shivers C., Smith C., Taylor J.: Ergonomic interventions for the furniture manufacturing industry. Part II—Handtools. *International Journal of Industrial Ergonomics* 29 (2002) 275–287.
- [5]. Dąbrowski A. Tokarski T.: Zadanie nr I.P.11 „Badania wpływu momentów obrotowych maszyn ręcznych na powstawanie obciążeń układu mięśniowo szkieletowego operatorów "Program wieloletni pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy" III etap, okres realizacji: lata 2014-2016. Część B: Program realizacji badań naukowych i prac rozwojowych.