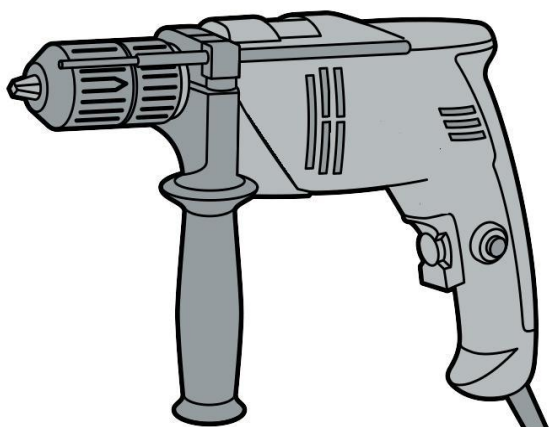


Maszyny ręczne z napędem elektrycznym – wpływ momentów obrotowych na obciążenie mięśniowo-szkieletowe ich operatorów

Maszyna ręczna przeznaczona do wykonania pracy mechanicznej jest tak skonstruowana, że można ją łatwo przenieść na miejsce pracy, a podczas pracy trzyma się ją w ręku lub prowadzi ręcznie (gdy jest zawieszona). Maszyna ręczna może być np. napędzana silnikiem elektrycznym lub magnetycznie, wtedy nazywana jest elektronarzędziem, choć występują także inne rodzaje napędów, np. pneumatyczny, hydrauliczny, spalinowy i prochowy.



Rys. 1. Wiertarka

Maszyn ręcznych, np. wiertarki (rys. 1) zwłaszcza z napędem elektrycznym, używają zarówno pracownicy, jak i osoby prowadzące prace w gospodarstwach domowych. Do licznej grupy powszechnie użytkowanych maszyn ręcznych z napędem elektrycznym należą m.in.: frezarki, wiertarki, gwinciaraki, wkrętarki, szlifierki, polerki, klucze udarowe. Według przeprowadzonych badań rynkowych wzrost zapotrzebowania na maszyny ręczne na świecie wynosił średnio 4,4%, osiągając w 2015 roku wartość ok. 27,3 mld USD [1].

W publikacji omówiono wpływ momentów obrotowych podczas użytkowania maszyn ręcznych (a zwłaszcza z napędem elektrycznym) na powstawanie obciążeń układu mięśniowo-szkieletowego ich operatorów oraz działań prewencyjnych związanych z tymi zagrożeniami.

Wstęp

Maszyny ręczne są powszechnie stosowane. Dzięki nim można zwiększyć wydajność pracy. Mała masa, a tym samym mobilność powoduje, że ich użytkownicy mogą pracować w różnych miejscach, często trudno dostępnych, a więc nie trzeba organizować ciągle nowych stanowisk pracy (zlokalizowanych w różnych miejscach) wyposażonych w maszyny stacjonarne.

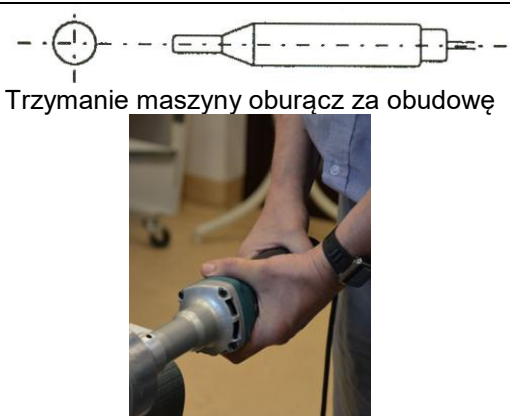

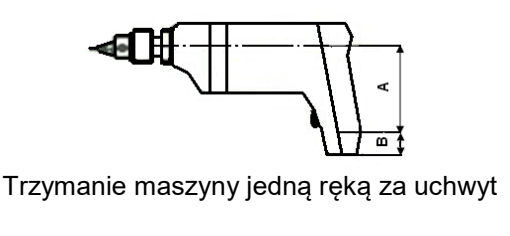
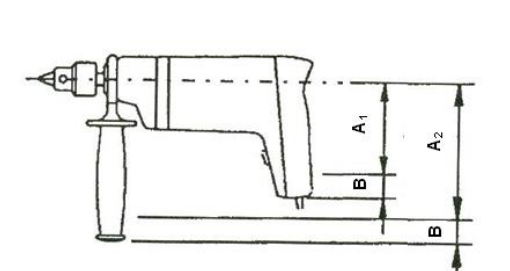
Maszyny ręczne w odróżnieniu od maszyn stacjonarnych charakteryzują się mobilnością (z czym wiąże się łatwość przenoszenia i zmiany położenia tych maszyn). W związku z tym możliwy jest kontakt narzędzi maszyn z ciałem operatora. Istnieje również możliwość złamania narzędzi na skutek upadku, niewłaściwego trzymania lub nadmiernego zużycia maszyn. Mogą więc powstać urazy powodowane obciążeniem, uderzeniem i zgnieceniem przez narzędzia i inne części ruchome, a także przez wyrzucane elementy materiału obrabianego.

Oprócz typowych zagrożeń mechanicznych występujących podczas użytkowania maszyn ręcznych użytkownicy nie powinni zapominać o szkodliwych momentach obrotowych, jakie mogą być przenoszone na ich kończyny górne. Ich występowanie wiąże się np. z zakleszczeniem się narzędzia w obrabianym materiale lub jego zablokowaniem, co może powodować istotne zagrożenia dla układu mięśniowo-szkieletowego. Szczególnie obciążone są w tym przypadku mięśnie przedramienia, ramienia i obręczy barkowej. Jednocześnie proces starzenia się społeczeństwa powoduje wzrost liczby starszych operatorów maszyn ręcznych, bardziej podatnych na negatywne skutki występowania omawianych zagrożeń ergonomicznych.

Ograniczenia formalne i techniczne maksymalnych wartości momentów obrotowych przenoszonych na ręce operatorów maszyn ręcznych

Wskazania dla producentów i użytkowników dotyczące ograniczenia wartości momentów obrotowych przenoszonych na ręce operatorów maszyn ręcznych można znaleźć w normach dotyczących tych maszyn. W tabelicy 1 przedstawiono ich maksymalne dopuszczalne wartości zależne od budowy i sposobu trzymania maszyn ręcznych z napędem elektrycznym. Momenty te są nazywane „momentami utyku” i powstają głównie podczas zakleszczenia narzędzi roboczych w materiale obrabianym [2].

Tabela 1. Dopuszczalne momenty obrotowe M_{Rmax} przenoszone na ręce operatorów typowych maszyn ręcznych z napędem elektrycznym

Lp.	Budowa maszyny	Rysunek i określenie sposobu trzymania maszyny	Określenie (obliczenie) dopuszczalnego momentu obrotowego M_{Rmax}	Moment M_{Rmax} [Nm]
1	Maszyna z obudową okrągłą	 <p>Trzymanie maszyny oburącz za obudowę</p>	Podanie dopuszczalnej wartości	$M_{Rmax} = 8 \text{ Nm}$
2	Szlifierka prosta – obudowa trójkątna	 <p>Trzymanie maszyny oburącz – jw.</p>	Podanie dopuszczalnej wartości	$M_{Rmax} = 10 \text{ Nm}$
3	Maszyna z jednym uchwytem	 <p>Trzymanie maszyny jedną ręką za uchwyt</p>	Obliczenie: $M_{Rmax} = (400 \times A) \text{ Nm}$. Przyjmuje się, że: $B = 0,04 \text{ m}$, A – długość uchwytu mierzona do osi obrotu narzędzia	Obliczony dopuszczalny M_{Rmax} dla badanych wiertarek nie przekroczył 57 Nm ($A = 0,14 \text{ m}$).
4	Maszyna z dwoma uchwytami	 <p>Trzymanie maszyny oburącz za dwa uchwyty</p>	Obliczenie: $M_{Rmax} = (400 \times A_2) \text{ Nm}$. Przyjmuje się, że: $B = 0,04 \text{ m}$ A_2 – długość dłuższego uchwytu mierzona do osi obrotu narzędzia	Obliczony dopuszczalny M_{Rmax} dla badanych wiertarek nie przekroczył 77 Nm ($A = 0,19 \text{ m}$)

Niezależnie od zaleceń normatywnych producenci znacząco ograniczają w sposób techniczny momenty przenoszone na ręce operatorów, występujące np. podczas zakleszczenia narzędzia w materiale obrabianym. Badania wiertarek na hamowni wykazały, że działanie sprzęgła przeciążeniowego bądź ograniczenie mocy silnika powoduje zatrzymanie ruchu wiertła przy momentach hamujących wynoszących kilkanaście Nm [3].

Trzeba również pamiętać, że niektóre normatywne wartości dopuszczalne momentów obrotowych są „trudne do utrzymania dla rąk operatorów”. Maksymalne momenty, jakie praktycznie mogli wyrzucić ope-

ratorzy (w najkorzystniejszych warunkach ergonomicznych) poprzez oba uchwyty wyłączonej wiertarki, nie przekraczały 50 Nm (patrz tablica 1, pkt 4 – maszyna z dwoma uchwytami – A = 0,19 m).

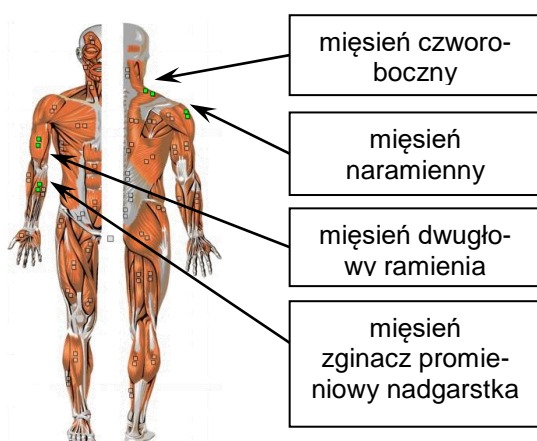
Obciążenia mięśni operatorów podczas obsługi maszyn ręcznych

Aby stwierdzić, jakie jest rzeczywiste obciążenie poszczególnych mięśni, można przeprowadzić test maksymalnie aktywujący każdy z nich. Uzyskiwano w ten sposób maksymalną wartość amplitudy sygnału EMG (elektromiografia) od poszczególnych mięśni, odpowiadającą wartości maksymalnego napięcia mięśnia MVC (ang. *maximum voluntary contraction*). Napięcie poszczególnych mięśni podczas obsługi maszyn ręcznych (wartość amplitudy sygnału EMG) odniesione do odpowiednich wartości MVC umożliwia określenie obciążenia mięśni wyrażone w % MVC [4].

Mięśnie operatorów najbardziej obciążone podczas obsługi maszyn ręcznych

Stosując w pracy maszyny ręczne, należy liczyć się ze szczególnym obciążeniem wybranych mięśni przedramienia, ramienia i obręczy barkowej (rys. 2). Generowany przez maszyny ręczne moment obrotowy, w zależności od pozycji przyjmowanej przez operatorów podczas pracy, może stanowić szczególne zagrożenie dla następujących mięśni:

- czworobocznego – część górna (*trapezius pars descendens*),
- naramiennego – część środkowa (*deltoideus pars media*),
- dwugłowego ramienia – głowa długa (*biceps brachii – caput longum*),
- zginacza promieniowego nadgarstka (*flexor carpi radialis*).



Rys. 2. Położenie wybranych mięśni przedramienia, ramienia i obręczy barkowej odpowiedzialnych za realizację różnych funkcji podczas obsługi maszyny ręcznej (zielone punkty oznaczają miejsca przyczepu elektrod EMG podczas badań ich obciążenia)

Podczas wykonywania pracy maszyną ręczną obciążenie mięśni ramienia i obręczy barkowej wynika ze spełniania przez nie różnych funkcji (tablica 2).

Tablica 2. Funkcje mięśni podczas obsługi maszyn ręcznych

Podstawowe funkcje spełniane podczas obsługi maszyny ręcznej	Nazwa mięśni
Utrzymanie kończyny górnej w ustalonej pozycji	Czworoboczny i naramienny
Utrzymanie maszyny w określonym ustawieniu (pionowym, poziomym)	Dwugłowy ramienia oraz zginacz promieniowy nadgarstka
Włączanie maszyny	Zginacz promieniowy nadgarstka

Różne aspekty obsługi maszyn ręcznych mają wpływ na obciążenie ww. mięśni, co przedstawiono w tablicy 3.

Tablica 3. Aspekty obsługi maszyn ręcznych mające wpływ na obciążenie mięśni ramienia i obręczy barkowej

Rodzaj aspektu	Wpływ aspektu obsługi na obciążenie mięśni	Badana grupa operatorów
Sposób trzymania maszyny ręcznej	<p>W przypadku trzymania szlifierki prostej za obudowę średnie obciążenie mięśni nie przekraczało 30% MVC, przy momencie obciążającym wynoszącym 8 Nm.</p> <p>O wiele bardziej korzystna dla operatorów jest praca maszynami trzymanymi oburącz za uchwyty (w porównaniu z pracą maszyną trzymaną oburącz za obudowę). Występuje wtedy mniejsze średnie obciążenie mięśni przy większym momencie obciążającym wynoszącym 10 Nm. Obciążenie wybranych mięśni zmniejsza się nawet o 60%.</p> <p>Jeśli jest to możliwe, należy oburącznie trzymać maszynę za dwa uchwyty (np. w przypadku wiertarki z mocowanym drugim uchwytem) ze względu na znaczące zmniejszenie obciążenia mięśni dochodzące nawet do 80% przy momencie obciążającym 10 Nm</p>	Operatorzy w wieku 20–30 lat
Ustawienie maszyny ręcznej podczas pracy	Ustawienie maszyny ręcznej zależy od rodzaju pracy. Rozpatrując dwa podstawowe położenia pracy maszyn ręcznych: (1) poziome i (2) pionowe, można stwierdzić znaczący wzrost obciążenia mięśni, które np. w przypadku usta-	Operatorzy w wieku 20–30 lat

Rodzaj aspektu	Wpływ aspektu obsługi na obciążenie mięśni	Badana grupa operatorów
	wienia (1) jednoręcznie trzymanej wiertarki elektrycznej (moment obciążający 10 Nm) dochodzi do 100%	
Wartość momentu obciążającego	<p>Maszyny ręczne generują różne momenty obciążające kończyny górne operatorów, co ma związek z zastosowaniem różnych rozwiązań technicznych (moc silnika, sprzęgła przeciążeniowe, budowa maszyny i jej uchwyty). Nie zawsze te rozwiązania będą ograniczały wartość tych momentów do kilkunastu Nm, a przez to możliwe jest występowanie momentów, które według norm mogą mieć kilkukrotnie wyższe wartości.</p> <p>Porównując obciążenie mięśni występujące przy momentach 10 Nm i 50 Nm generowanych przez maszynę trzymaną oburęcznie za uchwyty (w taki sposób jak wiertarkę) dla wybranych mięśni, zaobserwowano sześciokrotny jego wzrost (obciążenie przy 50 Nm dochodziło do 65% MVC)</p>	Operatorzy w wieku 20–30 lat
Wiek operatorów	<p>Wraz z wiekiem zmniejsza się siła mięśniowa operatorów maszyn ręcznych. Skutkiem tych zmian jest większe obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego starszych operatorów (w porównaniu z młodszymi operatorami) powstające przy określonym momencie obrotowym przenoszonym na ich kończyny górne.</p> <p>Różnice obciążenia mięśni między grupą osób starszych a młodszych w zdecydowanej większości przypadków obsługi maszyn ręcznych są istotne. Analizując procentowe wartości różnic średniego obciążenia między badanymi grupami osób starszych a młodszych, można stwierdzić, że były one większe nawet o 70% w grupie starszych osób</p>	Operatorzy w wieku: 60÷67 oraz 20÷30 lat

Podsumowanie i zalecenia prewencyjne

Zagrożenia dla mięśni przedramienia, ramienia i obręczy barkowej operatorów maszyn ręcznych wynikają głównie z występujących oporów ruchu narzędzi maszyn ręcznych w materiale obrabianym. Ich źród-

nicowanie wynika z różnych aspektów obsługi tych maszyn i są to np.: sposób trzymania maszyny ręcznej, ustawienie maszyny ręcznej podczas pracy, wartość momentu obciążającego kończyny górne oraz wiek operatorów.

Wyniki badań ergonomicznych wykazują, że średnie obciążenie tych mięśni nie powinno przekraczać 15% MVC w ośmiogodzinnym wymiarze czasu [5]. Trzeba więc to brać pod uwagę przy ustalaniu czasu pracy określonymi maszynami ręcznymi (jeśli to konieczne, skracając czas obsługi tych maszyn).

Z przeprowadzonych badań wynika, że możliwe jest przekroczenie wartości granicznej (% MVC) nawet w maszynach ręcznych z napędem elektrycznym, które są wyposażone w sprzęgła przeciążeniowe (ograniczające moment obciążający do kilkunastu Nm). Utrzymywanie tych przekroczeń w dłuższym wymiarze czasu pracy nie jest korzystne dla operatorów i może doprowadzić do przeciążenia ich układu mięśniowo-szkieletowego. Dlatego oprócz zapewnienia odpowiedniej jakości zabezpieczeń stosowanych w maszynach, należy mieć także na uwadze czas pracy tymi maszynami.

Ze względu na starzejące się społeczeństwo, a tym samym wiek pracowników oraz ich fizyczne możliwości trzeba również brać pod uwagę konieczność relatywnego zmniejszenia obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego na stanowiskach pracy wyposażonych w maszyny ręczne.

Bibliografia

[1] 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, źródło: www.powiatbytowski.pl/download/sektor_narzedziowy.pdf [dostęp: 15.07.2016 r.].

[2] PN-EN 60745-2-1:2010 Narzędzia ręczne o napędzie elektrycznym – Bezpieczeństwo użytkowania – Część 2-1: Wymagania szczegółowe dotyczące wiertarek i wiertarek udarowych.

[3] Dąbrowski A., Tokarski T. i in., Badania wpływu momentów obrotowych maszyn ręcznych na powstawanie obciążeń układu mięśniowo-szkieletowego operatorów. Etap. 1. Opracowanie metodyki badań eksperymentalnych wpływu momentów obrotowych na obciążenie układu mięśniowo-szkieletowego operatorów maszyn ręcznych z napędem elektrycznym. Program wieloletni pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”. III etap, okres realizacji: lata 2014–2016. Część B. Program realizacji badań naukowych i prac rozwojowych.

[4] Sobota G., Elektromiografia i jej zastosowanie w zaburzeniach aparatu żucia. SEMG, 6/2012, źródło http://www.semg.pl/files/149/tps_artykul_2012_06_35837.pdf [dostęp: 15.07.2016 r.].

[5] Koradecka D. (red.), Bezpieczeństwo pracy i ergonomia. Tom I i II. CIOP, Warszawa, 1999.