

TENDENCJE ROZWOJU METOD I TECHNIK ERGONOMICZNEGO KSZTAŁTOWANIA STANOWISK PRACY

Streszczenie: Artykuł prezentuje najczęściej stosowane metody analizy uciążliwości pracy dynamicznej na stanowiskach pracy fizycznej. Szczegółowo przedstawiono kolejne etapy wykonywania pomiaru z wykorzystaniem nowego typu aparatury The Body Media Sense Wear, która stosowana jest w pomiarach w zakładach przemysłu samochodowego. W artykule przytoczono przykładowe wyniki badań.

TRENDS IN THE ERGONOMIC WORKSTATIONS IMPROVEMENT METHODS AND TECHNIQUES

Abstract: The article presents the most commonly used methods for the work analysis. Detail was shown the steps of the measurement with using The Body Media Sense Wear, which are used in the measurement of automotive plants. The paper presents examples of the results of research.

*Słowa kluczowe: doskonalenie ergonomiczne, The Body Media Sense Wear
Keywords: ergonomic improvement, The Body Media Sense Wear*

1. WPROWADZENIE

W rozwoju współczesnych przedsiębiorstw istotne znaczenie ma poziom szeroko rozumianej kultury technicznej załogi. Jednym z elementów tej kultury jest humanizacja pracy, w tym stan zapewnienia ergonomii i higieny na stanowiskach pracy [3]. Środowisko pracy oddziałuje na człowieka w procesie pracy, co skutkuje różnym odczuwaniem przez pracowników obciążenia pracą. Może prowadzić to do zmniejszenia sprawności, trudności w kojarzeniu, rozumowaniu, jasności myślenia, zaburzenia pamięci i koncentracji, obniżenia sprawności psychomotorycznej, zmian emocjonalnych – wzrostu pobudliwości, napięcia, przygnębienia, niechęci do działania [7].

Taki stan powoduje straty ekonomiczne wynikające z niskiej jakości i wydajności pracy, wypadków, utraty zdrowia, dużej płynności kadr, strat materiałowych, nieprawidłowej eksploatacji narzędzi i maszyn. Na warunki wykonywanej pracy wpływają [1]:

- czynniki techniczne – rodzaje środków pracy, wielkość, kształt przedmiotów pracy, sprawność techniczna i zabezpieczenie stanowiska i urządzeń transportowych;
- czynniki organizacyjne – ergonomiczność wyrobu, forma organizacyjna, metody wykonywania, przestrzeń pracy z uwzględnieniem danych antropometrycznych na stanowisku, między stanowiskami, urządzeń transportowych, sposób i kolejność dostarczania części, prawidłowość obliczania norm czasu pracy, rytm i tempo pracy, przerwy w pracy – planowane wynikające z procesu technologicznego i z procesu pracy;

- czynniki materialnego środowiska – mikroklimat, oświetlenie, hałas, wibracje, zanieczyszczenie powietrza;
- obciążenia fizyczne – obciążenie mięśni statyczne i dynamiczne;
- obciążenie psychiczne – monotonia, konieczność intensywnego myślenia, podejmowanie ryzykownych decyzji, strumień informacji – zasób, dostęp, możliwość ich wykorzystania;
- bezpieczeństwo pracy – stosowanie zabezpieczenia przed naruszeniem normalnych warunków eksploatacji, ochrona przed zagrożeniami urazowymi, zabezpieczenie maszyn, urządzeń, oprzyrządowania podczas podnoszenia przedmiotów i dźwigania.

Tradycyjnie do oceny uciążliwości i kształtowania warunków ergonomicznych wykonywanych prac posługiwano się różnego rodzaju aparaturą oraz metodami i technikami zarządzania, takimi jak np. aparatura do oceny wysiłku metodą kalorymetrii bezpośredniej, ergonomiczne listy kontrolne, ankiety pracownicze, normowanie czasu pracy, analiza przyczynowo-skutkowa i inne. Przedstawione wyżej metody są pracochłonne, charakteryzują się różnym kosztem wykonania pomiarów oraz różną dokładnością i niepewnością uzyskiwanych wyników. Niektóre z nich, np. aparatura do pomiaru kalorymetrycznego, wpływają na przebieg badanego procesu pracy [2].

Rozwój technologii informatycznych, ich coraz szersze zastosowanie w przemyśle wytwórczym, umożliwił wprowadzenie w wielu procesach technologicznych monitorowania i kontrolowanie przebiegających działań produkcyjnych. Pojawiły się również nowe możliwości pomiarów parametrów fizjologicznych pracowników obsługujących stanowiska pracy.

2. KRYTERIA KSZTAŁTOWANIA ERGONOMII PRACY NA STANOWISKACH ROBOCZYCH

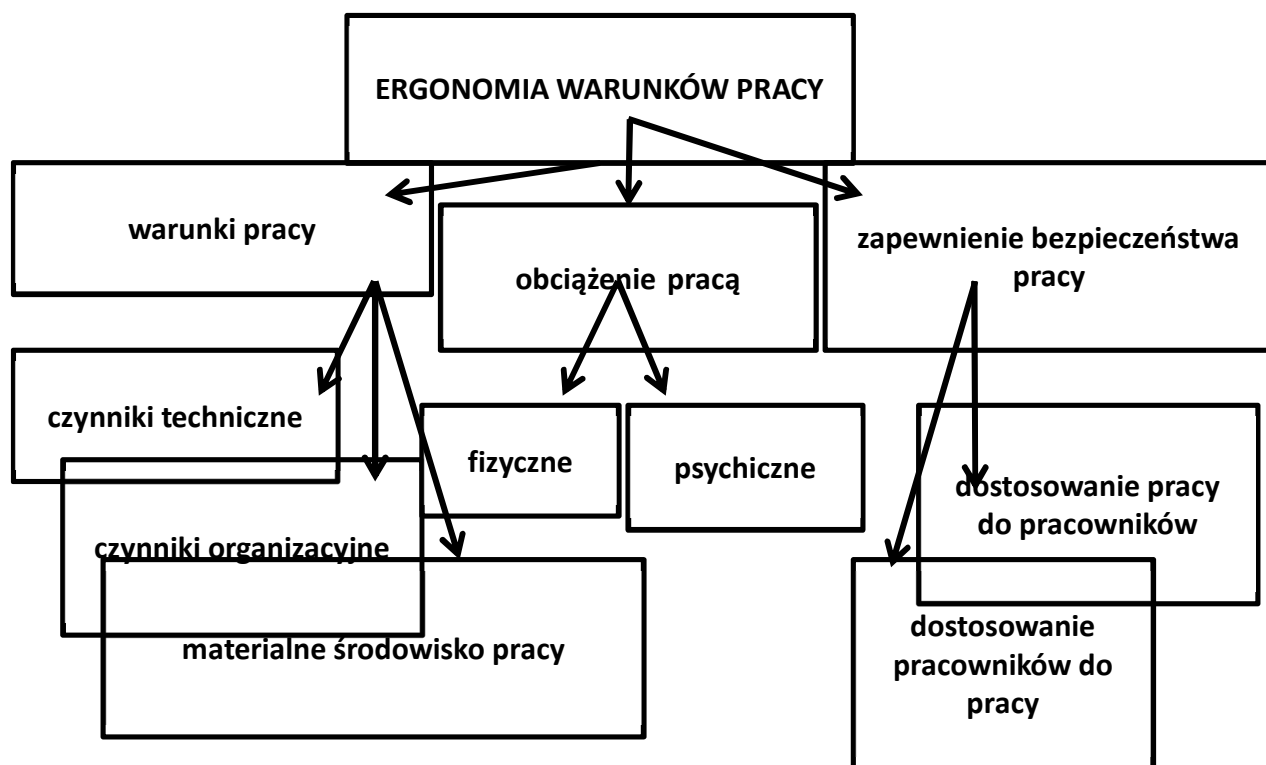
Złożoność procesów zapewnienia odpowiednich warunków ergonomicznych i higieny pracy jest związana z wielkością przedsiębiorstwa, posiadany potencjałem rozwojowym, wyposażeniem, rodzajem wytwarzanych produktów, rodzajem i stanem stanowisk pracy, przyjętym systemem zarządzania itd. Określone działania związane z poprawą tych warunków mogą być związane z [2]:

- kształtowaniem jakości ergonomicznej wyrobów oraz badaniem potrzeb i weryfikacją cech ergonomicznych wyrobów własnych i konkurencji – ergonomia koncepcyjna,
- kształtowaniem jakości ergonomicznej nowo powstających stanowisk pracy i oprzyrządowania technologicznego – ergonomia koncepcyjna,
- ergonomicznym usprawnianiem stanowisk pracy znajdujących się w eksploatacji – ergonomia korekcyjna,
- oddziaływaniem na proergonomiczną politykę inwestycyjną – ergonomia prewencyjna.

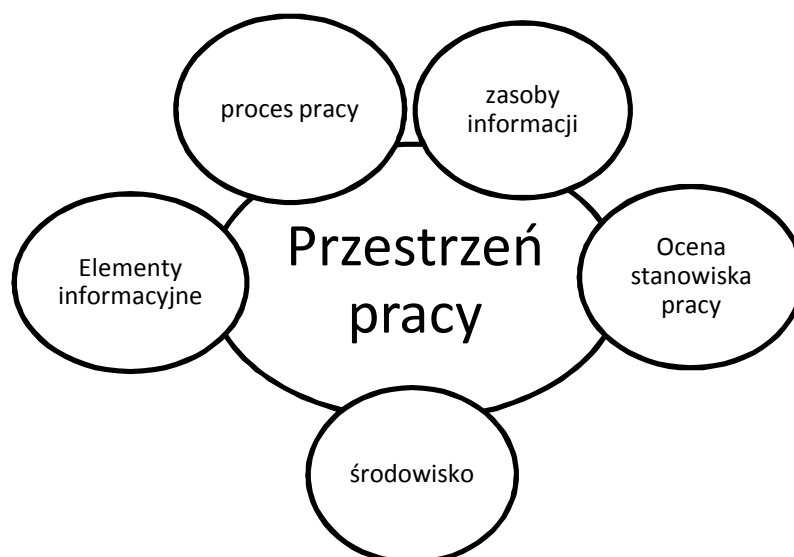
W każdym z wyżej wymienionych przypadków czynniki kształtujące procesy produkcyjne można podzielić na poprawę ergonomii produktu (technologiczności ergonomicznej produktu) oraz ergonomii warunków pracy – rys. 1.

W tradycyjnym procesie projektowania stosunkowo małą uwagę konstruktorzy przywiązywali do zagadnień ergonomii pracy człowieka. Skupiano się głównie na niezawodności, trwałości, sprawności, funkcjonalności wykonywanego produktu oraz łatwym przezbrajaniu, serwisowaniu i remontowaniu projektowanych pomocy warsztatowych i stanowisk roboczych. Ze względu na postępujący rozwój w budowie maszyn produkcyjnych zmieniają się i powstają ciągle nowe zagrożenia wynikające z eksploatacji tych urządzeń technicznych. Występuje zatem potrzeba podejmowania ciągłych prac nad zapewnieniem bezpieczeństwa i higieny pracy, eliminowania i minimalizacji niekorzystnego wpływu

wykonywanych robót na środowisko [5]. Do głównych obszarów kształtowania ergonomicznych systemów można zaliczyć obszary określone na rys. 2.



Rys. 1. Kształtowanie ergonomicznych warunków pracy (opracowanie własne)



Rys. 2. Obszary kształtowania ergonomii pracy (opracowanie własne)

W procesach kształtowania procesów pracy występuje pojęcie obciążenia pracą i uciążliwości pracy. Różnica pomiędzy pojęciami obciążenia i uciążliwości wiąże się z faktem, że obciążenie jest elementem składowym oddziaływania na pracownika. Natomiast pojęcie uciążliwości utożsamiane jest ze skutkiem oddziaływania obciążenia. Zatem obciążenie jest elementem składowym pracy, którego wynikiem jest poziom odczuwanej uciążliwości. Znaczenie kształtowania ergonomii pracy potęguje fakt obowiązku przeprowadzania przez zakłady pracy oceny ryzyka zawodowego pracowników i podejmowanych innych przedsięwzięć.

3. TRADYCYJNE METODY I TECHNIKI OCENY UCIAŻLIWOŚCI PRACY NA STANOWISKACH ROBOCZYCH

Do najbardziej rozpowszechnionych dotychczas stosowanych w przemyśle i badaniach naukowych tradycyjnych metod i technik oceny uciążliwości pracy można zaliczyć [1]:

- Arkusze oceny ergonomicznej i ergonomiczne, zawierające np. pytania na temat obciążeń w przestrzeni pracy, zastosowanych metod pracy, środowiska, organizacji itd.
- Listy kontrolne kierowane do projektantów w celu oceny poprawy prototypów urządzeń technicznych. Przykładowe pytania z listy to: ocena roli operatora urządzenia, rodzaj potrzebnych informacji sterowniczych, jaki system łączności powinien być zastosowany, jakie będą warunki pracy operatora, konserwacji stanowiska pracy itd.
- Określanie wydatku energetycznego. Do określania wydatku stosowane są różne metody, między innymi gazometryczne, kalorymetryczne – bezpośrednie (jednoczesny pomiar wymiany gazowej i wytworzonego ciepła aparatem Atwatera–Rosa–Benedicta), pośrednie (pomiar zużytego tlenu i wyemitowanego dwutlenku węgla), na podstawie efektu pracy, metoda chronometrażowo-tabelaryczna wg Lehmana, na podstawie telemetrycznego pomiaru częstości skurczów serca itd.

Każda z wymienionych metod posiada wady i zalety. Łatwa w zastosowaniu i tania metoda chronometrażowo-tabelaryczna cechuje się wysokim stopniem błędów a metoda gazometryczna utrudnia wykonywane przez pracownika zadań roboczych [2].

4. PROPOZYCJE ZASTOSOWANIA NOWYCH METOD DO OCENY UCIAŻLIWOŚCI PRACY

Rozwój technologii informatycznej spowodował możliwość oceny przebiegu procesów pracy na podstawie wykorzystania nowej aparatury elektronicznie rejestrującej kilka parametrów życiowych pracownika wykonującego pracę oraz zastosowania modelowania i symulacji w wirtualnej rzeczywistości.

Przykładem nowej generacji urządzeń jest aparatura zwana monitorem aktywności fizycznej – w analizowanym przypadku aparatura producenta The Body Media Sense Wear. Urządzenia tego typu nie były do tej pory na szeroką skalę stosowane w przemyśle.

Aparatura The Body Media Sense Wear posiada wbudowany krokomierz, który pobiera informacje o intensywności chodzenia w poszczególnych minutach dnia. Pobieranie danych z częstotliwością raz na minutę jest ustawieniem domyślnym, osoba dokonująca pomiarów może zmodyfikować częstotliwość próbkowania. Pozostałym rejestrowanym parametrem jest przewodność elektryczna skóry, wielkość ta jest zależna od wilgotności skóry oraz stresu. Przewodnictwo skóry rejestrowane przez The Body Media Sense Wear zmienia się

najczęściej w zakresie kilku mikrosimensów. Strach, złość i inne emocje mogą powodować reakcje zwiększające przewodnictwo skóry, dlatego należy uwzględnić ten fakt podczas analizowania wyników pomiarów. Urządzenie wykonuje także pomiar temperatury powierzchni ciała oraz ciepła rozpraszającego się emitowanego z organizmu w bliskim otoczeniu powierzchni skóry [2], [4].



Rys. 3. Urządzenie The Body Media Sense Wear [2]

Modelowanie i symulacja jest metodą, w której tworzy się komputerowy model rzeczywistego systemu, na którym można przeprowadzać szereg eksperymentów celem zbadania ergonomicznych warunków pracy. W wyniku przeprowadzonych symulacji uzyskiwany jest zestaw raportów oceny jakości pracy, na podstawie których opracowuje się program dalszego działania: wybór najlepszego rozwiązania przy projektowaniu nowego systemu produkcyjnego lub program zmian jakie należy wprowadzić w istniejącym systemie, aby osiągnąć założony cel. Nie istnieje żadna inna metoda albo teoria, która umożliwiłaby wykonywanie eksperymentów na złożonym systemie jeszcze przed rozpoczęciem realizacji projektów w praktyce [2][4].

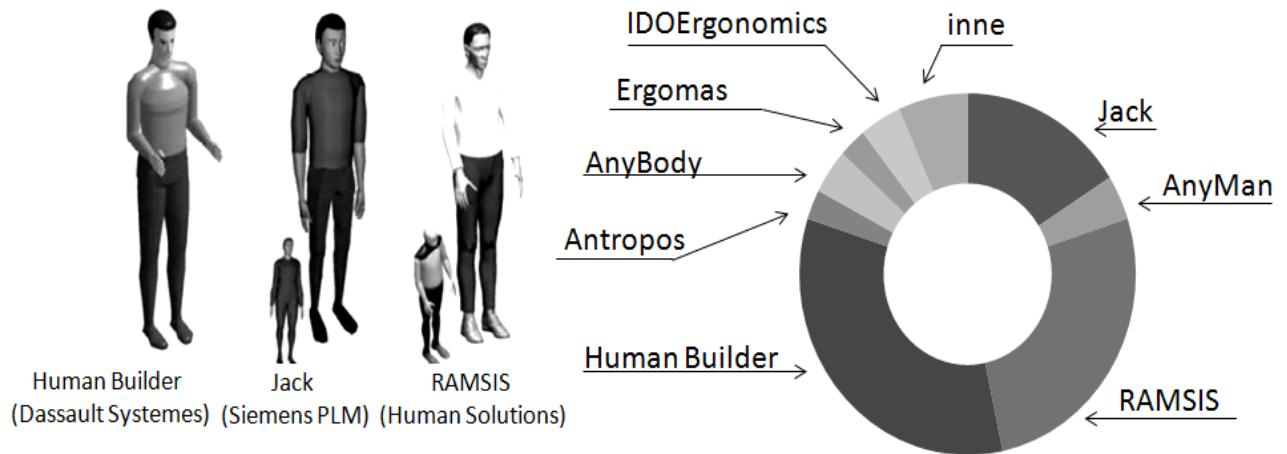
Zwolennicy stosowania komputerów w projektowaniu i kształtowaniu pracy na stanowiskach pracy widzą olbrzymie zalety tej techniki w postaci argumentów takich jak:

- skrócenie czasu projektowania w porównaniu z metodami tradycyjnymi,
- wzrost globalnej mocy twórczej projektantów,
- lepsza możliwość wglądu w pracę innych kolegów, przybliży to także możliwość realizacji znanego postulatu – „jedność czasu, miejsca i akcji” w projektowaniu zespołowym,
- łatwiejsze wprowadzanie zmian i modyfikacji do projektów już istniejących,
- znacznie większa możliwość wariantowania rozwiązań bez zwiększania pracochłonności,
- łatwość ujednoczenia formy dokumentacji i dostosowania jej do formy realizacyjnej projektu;
- znaczne obniżenie kosztów uzyskania dobrego rozwiązania projektowego.

Najważniejsze kierunki rozwoju i udziału rynkowego systemów w zakresie wirtualizacji pracy ilustruje rys. 4. Działania realizowane przez te systemy to [6]:

- działania zmierzające do pełnego opisu cech antropometrycznych człowieka i ich zapisu w postaci elektronicznej – z uwzględnieniem wieku, płci, rasy itp.;
- działania zmierzające do tworzenia trójwymiarowych modeli postaci ludzkich o różnych stopniach szczegółowości cech fizjonomicznych (wygląd zewnętrzny) oraz anatomicznych (kości, masa mięśniowa, narządy wewnętrzne);

- tworzenie trójwymiarowych komputerowych modeli stanowisk pracy umożliwiających badania i oceny stopnia uciążliwości pracy w zależności od zajmowanej postawy na stanowisku, wykonywanych operacji, zabiegów, czynności, warunków otoczenia (natężenie światła, zapylenie, hałas, temperatura, wilgotność itp.);
- wykonywanie specjalistycznych animacji i symulacji komputerowych w celu przeprowadzenia badań kierowanych na ocenę stopnia ryzyka zawodowego w danym systemie pracy, ocenę zagrożeń, ich eliminacji oraz wizualizacji ewentualnych skutków nieszczęśliwych wypadków.



Rys. 4. Wizualizacja ciała człowieka w najpopularniejszych modułach systemów komputerowej symulacji pracy człowieka [6]

Modelowanie postaci człowieka na potrzeby przemysłu rozpoczęło się w 1976 r. na uniwersytecie w Nottingham w Wielkiej Brytanii podczas opracowywania systemu Sammie. Pierwsze zastosowanie przemysłowe i wdrożenia przyjętych rozwiązań odbyło się w przedsiębiorstwie BOEMAN (1971), natomiast w przemyśle produkcji samochodowej w CYBERMAN w roku 1980 [6].

5. PRZYKŁADY WYNIKÓW BADAŃ

Przykładowe wyniki badań urządzeń w przemyśle motoryzacyjnym na stanowisku pracy fizycznej przedstawiono poniżej. Praca dotyczy kobiety na stanowisku pomocniczym obsługi magazynu. Dane wartości metabolizmu w zależności od płci i wieku w przeliczeniu na m^2 na godzinę zawiera tabela 1.

Data pomiaru: 12 listopada 2014

Rozpoczęcie pomiaru: 7:11

Zakończenie pomiaru: 13:50

Dane do oszacowania podstawowej przemiany materii:

wiek: 25 lat
masa: 73 kg
wzrost: 170 cm

Tab. 1. Wskaźnik tempa metabolizmu zależności od płci i wieku na m² skóry [5]

Wiek	Mężczyźni		Kobiety	
	Fleish J[kcal]/h/m ²	Boothby i WSP J[kcal]/h/m ²	Fleish J[kcal]/h/m ²	Boothby i WSP J[kcal]/h/m ²
19	164 (39,2)	177 (42,2)	149 (34,5)	153 (36,6)
20	162 (38,6)	174 (41,6)	148 (34,3)	152 (36,3)
25	157 (37,5)	169 (40,3)	147 (35,2)	151 (36,0)
30	154 (36,4)	166 (39,6)	147 (35,1)	150 (35,8)
35	153 (35,9)	163 (38,9)	147 (35,0)	150 (35,7)
40	152 (35,5)	160 (38,3)	146 (34,9)	149 (35,5)
45	152 (34,1)	157 (37,6)	145 (34,5)	148 (35,3)
50	150 (35,8)	155 (37,0)	142 (33,9)	144 (34,3)
55	148 (35,4)	152 (36,3)	140 (33,3)	140 (33,4)
60	146 (34,9)	160 (35,7)	137 (32,7)	137 (32,8)
65	144 (34,4)		135 (32,2)	

Wyniki zbiorcze:

Czas pomiaru: 6:39 [h]

Zmierzony wydatek energetyczny (brutto):

1576 [kcal] / 6:39 [h]

Wydatek energetyczny (brutto) na zmianę roboczą:

3,95 [kcal] / 1 [min]

1896 [kcal] / 480 [min]

Podstawowa przemiana materii (PPM):

PPM = 655,096+9,563W+1,850H-4,676A / doba

1551 [kcal] / 24 [h]

517 [kcal] / 8 [h]

64,62 [kcal] / 1 [h]

1,08 [kcal] / 1 [min]

Wartości określone według metod Fleish oraz według metody Boothby i WSP [5]:

Fleish 35,2 / [kcal/h/m²]

563 / [kcal/8h]

Boothby i WSP 36 / [kcal/h/m²]

576 / [kcal/8h]

Średnia obliczona przemiana materii po uwzględnieniu trzech metod:

552 / [kcal/8h]

wydatek energetyczny na zmianę netto:

1344 / [kcal/8h]

Tolerancja wyniku ±10%:

min 1210 [kcal/8h]

max 1478 [kcal/8h]

Szacowany wydatek uwzględniający stopień zaangażowania partii mięśniowych w wykonywaną pracę zawiera tabela 2.

Tab. 2. Stopień zaangażowania partii mięśniowych w wykonywaną pracę, opracowanie własne

część ciała	masa	udział	średnia
kończyna lewa	12,5%	90%	11,3%
kończyna prawa	12,5%	100%	12,5%
korpus ciała	45%	80%	36,0%
kończyna dolna lewa	15%	80%	12,0%
kończyna dolna prawa	15%	80%	12,0%
Suma:			83,8%

przyjęty stopień zaangażowania: 83,8%

wynik: 1126 [kcal/8h]

minimalny wydatek energetyczny: 1013 [kcal/8h]

maksymalny wydatek energetyczny: 1238 [kcal/8h]

Wydatek energetyczny po uwzględnieniu masy przemieszczanych przedmiotów:

Średnia masa przemieszczanych przedmiotów 5 kg

Średni czas % w czasie dnia roboczego dźwigania przedmiotami, manipulowania

75 %

Czas pracy z obciążeniem: 360 min

Przyjęty stopień uwzględniający masę dźwiganych/manipulowanych przedmiotów:

Wynik: 1486 [kcal/8h]

minimalny wydatek energetyczny: 1373 [kcal/8h]

maksymalny wydatek energetyczny: 1598 [kcal/8h]

Następnie wielkości te porównuje się z tabelami klasyfikującymi pracę do grupy prac lekkich, umiarkowanych, ciężkich lub bardzo ciężkich. Tabele 3 i 4 zawierają zbiorcze wartości graniczne pomiędzy kategoryzacją uciążliwości pracy:

Tab. 3. Klasyfikacja uciążliwości pracy kobiet [5]

Klasa metabolizmu	WE efektywny [kcal/min]		WE efektywny [kcal/h]		WE efektywny na zmianę roboczą [kcal/8h]	
	min	max	min	max	min	max
Kobiety						
Praca lekka	0	1,46	0	87,5	0	700
Praca umiarkowana	1,46	2,08	87,5	125	700	1000
Praca średnia	2,08	2,71	125	162,5	1000	1300
Praca ciężka	2,71	>	162,5	>	1300	>

Tab. 4. Klasyfikacja uciążliwości pracy mężczyzn [5]

Klasa metabolizmu	WE efektywny [kcal/min]		WE efektywny [kcal/h]		WE efektywny na zmianę roboczą [kcal/8 h]	
	min	max	min	max	min	max
Mężczyźni						
Praca lekka	0	2,08	0	125	0	1000
Praca umiarkowana	2,08	31,25	125	1875	1000	15000
Praca średnia	3,13	4,17	187,5	250	1500	2000
Praca ciężka	4,17	>	250	>	2000	>

Bazując na tej klasyfikacji, w danym dniu magazynier wykonywał pracę ciężką.

6. WNIOSKI I UWAGI

Proponowany sposób pomiaru wydatku energetycznego pozwala na klasyfikację do grup metabolizmu. W przypadku przekroczeń umożliwia weryfikację skuteczności zastosowanych rozwiązań organizacyjnych lub technicznych. Pomiaru stanowią także element oceny ryzyka zawodowego i doboru pracowników do danych grup prac.

Pomiar wydatku energetycznego pozwala w dłuższym okresie czasowym na prowadzenie lepszej i wydajniejszej pracy; umożliwia zmniejszenie biologicznych kosztów pracy – mniejszy wydatek energetyczny, mniejszą potrzebną siłę do wykonywania pracy, zmniejszenie liczby i kosztów braków oraz błędów popełnianych w pracy, zwiększenie bezpieczeństwa pracy i eliminację chorób zawodowych; ograniczenie absencji chorobowej; lepsze wykorzystanie czasu pracy; zwiększenie satysfakcji z pracy oraz pozytywną motywację; odczuwanie zadowolenia i przyjemności z kontaktu z urządzeniami technicznymi.

LITERATURA

- [1] Byrska K., Matuszek J.: *Zastosowanie arkusza ergonomicznego do analizy warunków pracy na wybranych stanowiskach roboczych*, [w:] *Współczesne standardy w zakresie zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy: nowa perspektywa*, red. J. Lewandowski i M. Znajmiecka-Sikora, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2014.
- [2] Byrska K.: *Możliwość zastosowania aparatury cosmed fitmate pro w określaniu wydatku energetycznego pracowników fizycznych*, „Logistyka”, nr 4, s. 23-33.
- [3] Ejdyś J., Lulewicz A., Obolewicz J.: *Zarządzanie bezpieczeństwem w przedsiębiorstwie*, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok, 2008.
- [4] Herma S., Byrska K.: *Kształtowanie jakości ergonomicznej w kontekście projektowania antropotechnicznych stanowisk pracy*, tom 2, red. K. Bzdyra, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, 2011.
- [5] Hławiczka M., Ścieszka D.: *Ergonomia i ochrona pracy, część 1 – Biomedyczne podstawy pracy*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej Filii w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała, 2001.
- [6] Schaub K., Mühlstedt J., Illmann B., Fritzsche L., Torsten W., Bullinger-Hoffmann A., Bruder R.: *Ergonomic assessment of automotive assembly tasks with digital human*

modelling and the ergonomics assessment worksheet' (EAWS), "Int. J. Human Factors Modelling and Simulation", Vol. 3, Nos. 3/4, 2012.

- [7] Wyściślik A., Gajdzik B.: *Jakość, środowisko i bezpieczeństwo pracy w zarządzaniu przedsiębiorstwem*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2010.