Z E S Z Y T Y N A U K O W E P O L I T E C H N I K I P O Z N A Ń S K I E J
Nr 70 Organizacja i Zarządzanie 2016

Grzegorz DAHLKE[*], Jerzy OLSZEWSKI[**], Mateusz OLSZEWSKI[***]

MODEL HUMANOIDALNY W ANALIZIE OBCIĄŻEŃ STATYCZNYCH OPERATORÓW WÓZKÓW WIDŁOWYCH. STUDIUM PRZYPADKU

DOI: 10.21008/j.0239-9415.2016.070.02

W artykule zaprezentowano zastosowanie cyfrowych modeli humanoidalnych w optymalizacji pracy operatorów wózków widłowych. Kształtowanie bezpiecznych i higienicznych warunków pracy stanowi ważne zagadnienie w organizacji procesu pracy. Wyniki badań mogą posłużyć w zaprojektowaniu optymalnych relacji między obsługiwanym urządzeniem a badanymi operatorami wózków widłowych, którzy charakteryzują się określonymi cechami antropometrycznymi. Przeprowadzona analiza obciążeń układu kostno-stawowego i mięśniowego za pomocą aplikacji 3DSSPP, dwóch operatorów obsługujących wózki widłowe pozwoli na podjęcie działań w zakresie minimalizacji oraz eliminacji oddziaływania czynników uciążliwych w środowisku pracy. Działania zmierzające do tego celu mogą być wprowadzone na etapie procesu projektowania (ergonomia koncepcyjna), bądź poprzez wdrożenie nowych rozwiązań w zakresie organizacji pracy (np. zapewnienie nadzoru nad właściwą regulacją siedziska i elementów sterowniczych). W większości przypadków podjęcie tych działań niekoniecznie wiąże się z wysokimi kosztami.

Słowa kluczowe: ergonomia, 3DSSPP, digital human model

1. WSTĘP

Człowiek i jego zdrowie jest podmiotem ochrony pracy. Realizacji tych zadań służą gwarancje prawne, a więc normy prawa pracy funkcjonujące w interesie pracujących, jak również przepisy bezpieczeństwa i ochrony pracy. Obejmują one między innymi zagrożenia i uciążliwości związane z obiektami i pomieszczeniami pracy, obsługą maszyn, urządzeń, stosowaniem narzędzi, procesami pracy, szcze-

[*] Wydział Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej.
[**] Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu.
[***] Absolwent Politechniki Poznańskiej.

gólnie niebezpiecznymi i szkodliwymi, organizację pracy, zagrożenia tkwiące w samych pracownikach, w ich możliwościach psychofizycznych, stanie zdrowia, względnie kompetencjach. Regulacje w przedmiotowej sprawie można odnaleźć w przepisach bhp, w dziale X Kodeksu pracy, oraz w innych aktach prawnych niższego rzędu, jak rozporządzeniach, a także w Polskich Normach. Ich przestrzeganie ma na celu przeciwdziałanie wszelkim zagrożeniom dla zdrowia i życia ludzkiego, powstającym w procesie pracy. Ich przestrzeganie przez pracodawców i pracowników pozytywnie wpływa na poprawę warunków pracy, a co się z tym wiąże z lepszą ochroną ich zdrowia i życia (Górska, 2007).

Jak wcześniej wskazano, kształtowanie bezpiecznych i higienicznych warunków pracy stanowi ważne zagadnienie w organizacji procesu pracy (Tytyk, 2009; Wieczorek et al., 2014). Zdaniem autorów artykułu, temu celowi może służyć zastosowanie cyfrowych modeli humanoidalnych i w oparciu o przeprowadzone badania zaprojektowanie optymalnych relacji między obsługiwanym urządzeniem a badanymi operatorami wózków widłowych, którzy charakteryzują się określonymi cechami antropometrycznymi. Przedmiotem artykułu są więc badania obciążeń układu ruchu podczas realizacji czynności operatorskich dwóch operatorów wózka widłowego serii 7 Toyota o zróżnicowanych cechach antropometrycznych. Celem badań było opracowanie metodyki badań procesu pracy z wykorzystaniem aplikacji z wbudowanymi modelami cyfrowymi człowieka.

W celu przeprowadzenia badań zastosowano między innymi takie metody badawcze i narzędzia jak: krytyczna analiza literatury przedmiotu, aplikacja komputerowa *3D Static Strength Prediction Program™ – Version 6.0.6* (http://c4e.engin.umich.edu) oraz metoda analizy porównawczej.

2. WYMAGANIA PRAWNE I NORMATYWNE W ANALIZIE I OCENIE ERGONOMICZNOŚCI PROCESU PRACY I WYROBÓW

Zadaniem ergonomii jest optymalizacja warunków pracy, która stała się istotna ze względu na korzyści ekonomiczno-społeczne, jakie można osiągnąć w wyniku eliminacji nie tylko uciążliwych warunków pracy, ale przede wszystkim poprzez odpowiednie zaprojektowanie relacji przestrzennych na stanowisku pracy (Wieczorek, 2014). Z czynnikami uciążliwymi spotykamy się powszechnie na stanowiskach pracy w przedsiębiorstwach wszystkich gałęzi i branż przemysłowych, usługowych, komunikacji oraz podczas wykonywania czynności administracyjno-biurowych. Badania wykazały, że wśród czynników uciążliwych dominują takie rodzaje pracy, w których przeważa wymuszona pozycja ciała, transport ręczny materiałów, powtarzające się czynności pracy, monotonia, stres psychospołeczny, uciążliwe warunki fizyczne środowiska pracy (mikroklimat, środowisko dźwiękowe, oświetlenie nieodpowiednie w stosunku do wykonywanej pracy wzrokowej, wibracja, promieniowanie) (Wykowska, 2009).

Efektem długotrwałego działania uciążliwych warunków pracy mogą być dolegliwości układu mięśniowo-szkieletowego, narastanie stresu z jego skutkami – chronicznym zmęczeniem i wypaleniem zawodowym. Fakt ten sprzyja wypadkom przy pracy, przyśpieszaniu rozwoju i pogłębianiu chorób cywilizacyjnych (choroby układu krążenia, układu ruchu, kręgosłupa – szczególnie bóle w części lędźwiowo-krzyżowej).

Statystyki europejskie (raport Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy w Bilbao) wykazują, że w populacji pracowniczej Unii Europejskiej można odnotować dużą intensywność czynności powtarzalnych – 57%, wymuszonych pozycji przy pracy – 45%, obciążenia wynikające z dźwigania ciężarów – 34%, niekorzystne warunki klimatu – 21% (Dahlke et al., 2013; Horst, 2006). Niekorzystne psychospołeczne warunki pracy – zbyt duże tempo pracy, monotonia i zła organizacja pracy, dotyczą około 67% populacji. Kolejne badania, które objęły po raz pierwszy również nowe kraje UE, potwierdziły wcześniej wymienione tendencje (Górska, 2007; Obwieszczenie, 2004).

Przyczyn dolegliwości układu mięśniowo-szkieletowego, jak wynika z przeprowadzonych badań, można upatrywać w nieprawidłowych pozycjach przy pracy, stwierdzonych u 47% pracowników (przykładowo w Polsce u 50% pracowników). Drugim ważnym czynnikiem są czynności często powtarzalne, w tym wykonywane przez kończyny górne stwierdzone u 28% pracowników w czasie całej zmiany roboczej i u 52% pracowników w czasie ¼ zmiany roboczej. Czynnikiem ryzyka jest także ręczny transport ciężkich materiałów stwierdzony u 35% pracowników. Wśród uciążliwości pracy związanej z czynnikami fizycznymi środowiska pracy, największym problemem jest narażenie pracowników na klimat gorący – u 28% badanej populacji i na zimno – 23%, jak również oświetlenie – problemy ze wzrokiem stwierdzono u 15% pracowników (Tabora, 2003).

Wyniki badań wykazały również, że poczucie przewlekłego zmęczenia jest poważnym problemem pracowników w Polsce obejmującym 43% zatrudnienia, podczas gdy w „starych" krajach członkowskich problem ten dotyczy 23% populacji. Omówione czynniki są przyczyną 25% absencji chorobowej wszystkich pracowników (Romanowska-Słomka, et al., 2014).

Ergonomia w dyrektywach europejskich. Scharakteryzowane wyżej konsekwencje o charakterze ekonomiczno-społecznym stały się powodem uwzględnienia wymagań w zakresie ergonomii, w obligatoryjnych unijnych uregulowaniach prawnych (Zieliński, 2016).

W przedmiotowej sprawie obowiązują przede wszystkim dyrektywy tzw. nowego podejścia, w których zawarto podstawowe wymagania bezpieczeństwa i zdrowia:
– 98/37/WE, tzw. dyrektywa maszynowa, opublikowana w jednolitej wersji w 1998 r.,
– 89/386/EWG w sprawie minimalnych wymagań bezpieczeństwa i ochrony zdrowia dotyczących ochron indywidualnych w miejscu pracy.
Obowiązują również tzw. dyrektywy społeczne:

– 89/39/EWG o wprowadzeniu środków w celu zwiększenia bezpieczeństwa i poprawy zdrowia pracowników podczas pracy,
– 89/654/EWG (tzw. dyrektywa ramowa) – w sprawie minimalnych wymagań bezpieczeństwa i ochrony zdrowia podczas pracy,
– 90/269/EWG w sprawie minimalnych wymagań zdrowia i bezpieczeństwa podczas ręcznego przemieszczania ciężarów w przypadku wystąpienia zagrożenia, zwłaszcza urazów kręgosłupa u pracowników.

Podstawą tworzenia narodowych aktów prawnych oraz międzynarodowych norm w komitetach normalizacyjnych są wymagania zawarte w dyrektywach dotyczących problemów bezpieczeństwa pracy, ochrony zdrowia oraz ergonomii. Ergonomia dostarcza narzędzia w realizacji tych dyrektyw.

Normy tworzone w Komitecie Technicznym powstają we współpracy z technicznymi komitetami ISO w 11 grupach roboczych, zgodnie z merytorycznym zakresem działania.

Normy opracowane przez CEN/TC 122 *Ergonomics* zawierają wiedzę z dziedziny ergonomii, którą wykorzystuje się na etapie projektowania zgodnego z zasadami ergonomii oraz kryteriami i metodami oceny ryzyka zawodowego, które są pomocne zarówno projektantowi, jak i ekspertom do oceny przy użytkowaniu maszyn i innych środków technicznych (Konarska, 2007).

Tabela 1. Struktura i przedmiot norm z zakresu ergonomii (Łukasiewicz, 2009)

Typ norm	Zawartość	
I. Normy podstawowe (B – Basic)	**Zasady i metody opisujące czynnik ludzki** B1: Terminologia B2: Charakterystyki człowieka. Stres B3: Metody pomiaru i oceny B2 B4: Zasady ogólne (przewodniki) dla rozwoju norm B2, B3, GP	
II. Normy ogólne (G – Generic)	**Grupa produktów (materialnych i niematerialnych) (GP):** GP1: ilościowe wymagania ergonomiczne (i bezpieczeństwa) CP2: Metody pomiaru GP3: Przewodnik do stosowania Gp1 i GP2 w normach produktu	**Systemy pracy, środowisko pracy (W):** GW1: Jakościowa informacja do projektowania systemów pracy bez stanowienia wartości dopuszczalnych GW2: Metody pomiarowe
III. Normy produktu (P)	**Produkty:** Integracja danych ergonomicznych z B i P w specyficzne normy produktu. Normy te są przeważnie opracowywane w innych komitetach technicznych poza CEN (TC 122 i ISO/TC159.	
Odniesienie do regulacji prawnych UE (Traktat Amsterdamski)	Artykuł 94/95 (poprzednio 100/100a)	Artykuł 137 (poprzednio 118a)

CEN opublikowała 81 norm z zakresu ergonomii, z których zostanie omówionych kilka z nich (por. tab. 1) (Łukasiewicz, 2009). W serii norm EN 1005: „Maszyny – Bezpieczeństwo – Ergonomia", 5 norm jest poświęconych kryteriom oceny wydolności człowieka w zakresie biomechaniki. Zawierają one dane do projektowania urządzeń technicznych i czynności z nimi związanych oraz oceny ryzyka pozycji przy pracy: ręcznego transportu materiałów, sił stosowanych podczas pracy, częstotliwości czynności powtarzalnych. W seriach norm EN 547 „Maszyny – Bezpieczeństwo – Wymiary ciała ludzkiego oraz EN 614 „Ergonomiczne zasady projektowania", zawarto dane z zakresu antropometrii w zastosowaniu do projektowania urządzeń technicznych stanowisk pracy (Górska, 2007). Przedmiotem norm są metody pomiarów antropometrycznych, baza danych antropometrycznych, dane dotyczące możliwości zasięgów, odstępów i dostępu opracowane na podstawie analizy danych antropometrycznych. Wiedza ta służy bezpieczeństwu oraz poprawie warunków pracy w profilaktyce dolegliwości mięśniowo-szkieletowych.

Do projektowania nowoczesnych stanowisk pracy zgodnie z zaleceniami ergonomii oraz do oceny ryzyka służą normy dotyczące ergonomicznych wymagań dla centrów sterowania (seria EN ISO 9241, EN 29141) (Pawelec et al., 2015).

Polska jako członek Wspólnoty Europejskiej jest zobowiązana do wprowadzenia norm europejskich zharmonizowanych z dyrektywami dotyczącymi bezpieczeństwa i ochrony zdrowia. W projektowaniu stanowisk pracy najbardziej przydatne do stosowania są normy CEN przetłumaczone na język polski. Wdrażanie norm związanych z ergonomią do polskiego systemu normalizacyjnego odbywa się przez Komitet Techniczny nr 158 ds. Bezpieczeństwa Maszyn i Urządzeń Technicznych oraz Ergonomii – Zagadnienia Ogólne. Harmonizacja norm jest realizowana również przez inne komitety, przykładowo NKP nr 21 ds. Środków Ochrony Indywidualnej Pracowników.

3. METODY OCENY ERGONOMICZNOŚCI PRACY I WYROBÓW

W ostatnim okresie pięciu tysięcy lat obserwujemy ciągły rozwój środków technicznych, które człowiek wykorzystuje w procesie pracy. O ile w pierwszym okresie obejmującym 4800 lat wzrost ten był umiarkowany, o tyle w ostatnich dwóch stuleciach można zauważyć dynamiczny wzrost liczby wynalazków, a w szczególności od momentu wielkiej rewolucji przemysłowej, kiedy przybrał on funkcje wykładniczą. Klasyczne metody stosowane w analizie relacji człowiek–komputer oparte na zasadzie prób i błędów zawiodły. Taka sytuacja wytworzyła potrzebę stosowania metod naukowych, czego wyrazem było powstanie naukowego podejścia do ergonomii, której twórcą był W.B. Jastrzębowski, jak również naukowej organizacji pracy oraz *design marketingu.*

Taka sytuacja spowodowała, że zaczęto w sposób kompleksowy badać problemy organizacji, zarządzania i warunków pracy, a w szczególności zwracać uwagę

na czynniki ograniczające produktywność czynnika ludzkiego. W 1985 r. F.W. Taylor opracował zasady kształtowania warunków pracy, w których uwzględnił po raz pierwszy normowanie czasu pracy. Opracowane przez niego prawidłowości organizowania procesu pracy, które nazwał „naukowym zarządzaniem", zachęciło wielu badaczy do podjęcia badań nad procesem pracy oraz stanowiskiem pracy (European Working..., 2003).

Na uwagę zasługują metody kompleksowe, które wykorzystują i łączą narzędzia pomiarowe, obserwację środowiska pracy oraz wywiady z pracownikami nadzorującymi i osobami odpowiedzialnymi za bezpieczeństwo (Lis, 2007). Metoda EWA spełnia te funkcje dostarczając analiz sprawdzających wpływ zmian i ulepszeń na stanowisku pracy wpływających na poziom bezpieczeństwa. Pozwala ona również na poznanie różnych stanowisk pracy, przykładowo, w tej samej branży, a w końcowym procesie analizy można zsumować wyniki w postaci przeglądu warunków pracy w całym przedsiębiorstwie. Została ona opracowana w Institute of Occupational Health w Helsinkach.

Badania zmierzające do opracowania wielofunkcyjnej metody oceny i analizy stanowisk pracy są również prowadzone w Polsce (Górska, 2007). Do obecnej chwili nie opracowano pełnego zbioru wymogów ergonomicznych. Niemniej określono kryteria oceny. W myśl tych założeń, opierając się na wcześniejszych pracach L. Pacholskiego, w 1987 r. opracowano projekt Polskiej Normy pt. „Ergonomiczna atestacja maszyn i urządzeń". Pozwala ona na wystawienie atestu jakości na podstawie wcześniej przeprowadzonej kompleksowej oceny ergonomicznej. Do tej kategorii metod można zaliczyć również metodę oceny stanowisk pracy, zwaną ergonomiczną analizą uciążliwości pracy (EAUP).

Należy dodać, że w wielu dużych firmach wykorzystuje się oprogramowanie komputerowe, w którym zaimplementowano wiedzę specjalistyczną. Przykładem takiego oprogramowania, które umożliwia ocenę ryzyka zawodowego jest STER. Pozwala on na ocenę czynników niebezpiecznych, szkodliwych i uciążliwych, jak również jest wyposażony moduł pozwalający na dobranie ochron indywidualnych w zależności od procesu pracy.

Realizacja zaleceń ergonomii jest realizowana przez stosowanie w diagnozie warunków pracy różnych metod badawczych, a w szczególności cyfrowych modeli człowieka *(Digital Human Model – DHM).* Duże możliwości ma modelowanie symulacyjne sytuacji, które mogą zdarzyć się w rzeczywistości, co następnie pozwala na prezentacje przetworzonych danych stosowanych w zarządzaniu i projektowaniu, w szczególności w obszarze bezpieczeństwa pracy (Sławińska, 2008).

Jak wynika z wielu definicji model jest bezpośrednim przedstawieniem naszego wyobrażenia w logicznie całościowym fragmencie rzeczywistości. Wielu autorów stwierdza, że modelowanie środowiska pracy jest obecnie powszechnie wspomagane technikami komputerowymi, co pozwala na optymalizację rozwiązań projektowych przed zastosowaniem wyrobu względnie procesów technologicznych w praktyce.

Nieco odmiennie wygląda sytuacja w przypadku modelowania procesów decyzyjnych, gdzie wykorzystuje się prezentacje dotyczące przedmiotu rozważań (Olszewski, 2013).

Ze względu na podobieństwo możemy wyróżnić kilka klasyfikacji modeli: według podobieństw, według sposobu wyrażenia rzeczywistości oraz inne (por. tab. 2).

Tabela 2. Klasyfikacja modeli według wybranych kryteriów (Dahlke, 2014)

Kryteria klasyfikacyjne		
Podobieństwo	Sposób wyrażania rzeczywistości	Inne
Normatywne, w których wybrane cechy określa się jako wzorcowe	werbalne	konkretne i abstrakcyjne
Pozytywne będące uproszczoną wersją oryginału	analogowe (fizyczne, względnie ikonograficzne)	statyczne i dynamiczne (jedną ze zmiennych jest czas)
	formalne (matematyczne, symboliczne, normatywne)	heurystyczne i symulacyjne
	mentalne (matematyczne, symboliczne, normatywne	deterministyczne i dynamiczne (jedną ze zmiennych jest czas)

W praktyce możemy spotkać się z zaawansowanymi narzędziami wspomagającymi projektowanie stanowisk pracy. Do nich zaliczamy aplikacje komputerowe wykorzystujące modele człowieka (DHM), które stanowią oddzielne moduły, a ponadto współpracują z aplikacjami wspomagającymi projektowanie (CAD), względnie wytwarzanie (CAM), jak np. AutoCAD, Solid Edge, Solid Works, Catia (Dahlke, 2014; Schaub et al., 2012; Chaffin, 1992).

4. BADANIE ERGONOMICZNOŚCI PRACY OPERATORA WÓZKA WIDŁOWEGO

Rozpatrując kryterium biomechaniczne w analizie ergonomiczności procesu pracy, można stosować wiele narzędzi wspomagających ocenę (Dahlke, 2014). Działanie takie zaprezentowano na przykładzie operatorów wózków widłowych. W tym celu wykorzystano aplikację komputerową 3D Static Strength Prediction Program^{TM}. Program został opracowany przez Center of Ergonomics w University of Michigan.

Należy mieć na uwadze, że program ten nie powinien być stosowany jako jedyny wyznacznik narażeń pracownika lub oceny jego procesu pracy. Po zidentyfikowaniu zagrożeń na stanowisku, należy dobrać szczegółowe metody ich ewaluacji.

Opracowywanie działań prewencyjnych musi wynikać z analizy wielokryterialnej, ponieważ dokonując modyfikacji procesu według jednego kryterium, można pogorszyć oddziaływanie innych czynników.

Badania zostały przeprowadzone w miesiącu kwietniu 2015 r. w Ośrodku Szkolenia Zawodowego w Poznaniu przy ul. Działoszańskiej 10. Jest on wyposażony w różne typy wózków podnośnikowych, niezbędne do prowadzenia procesu szkoleniowego.

Pod nazwą wózka podnośnikowego będziemy rozumieli wózki, które wraz z urządzeniami pomocniczymi (platformy, widły lub inne urządzenia do manipulowania ładunkami) przystosowane są do podnoszenia ładunku (spaletyzowanego lub nie) na dowolną wysokość (umożliwiającą składowanie i pobieranie ładunku, a także układanie w gniazdach i podejmowanie z gniazd), w granicach określonych ich konstrukcją (Michalski et al., 2014). W wielu publikacjach określa się go również jako wózek jezdniowy podnośnikowy, który jest pojazdem mechanicznym, silnikowym służącym do przewozu towarów. Napędzane mogą być prądem elektrycznym, gazem lub paliwem (benzyna, olej napędowy) (Schaub et al., 2012). Waga przewożonego towaru może sięgać kilkudziesięciu ton. Wózki widłowe mają zastosowanie przy rozładunku i załadunku aut, kontenerów, w magazynach, fabrykach i portach. Najczęściej towary, które są transportowane znajdują się na drewnianych paletach o różnej wielkości. Wszystkie wózki widłowe podlegają dozorowi technicznemu (Michalski et al., 2014; Monitoring ..., 2000; Mrugalska, 2013).

Powstanie wózków widłowych jako pojazdów silnikowych, które zaczęły służyć do transportu towarów datuje się na lata 20 ubiegłego wieku. Zapoczątkowało to erę pełnej mechanizacji w transporcie towarów (Dokumentacja techniczno-ruchowa...).

Do obsługi wózka widłowego konieczne jest posiadanie odpowiednich uprawnień oraz pozytywny wynik badań medycyny pracy.

Badania procesu realizowanego przez operatora można prowadzić, wykonując obserwację ciągłą lub metodą próbkowania (w badaniach autorzy zastosowali do obserwacji czynności operatorskich metodę próbkowania). Dobór uzależniony jest od celu badań i oczekiwanych rezultatów. Autorzy, rozpoczynając badania, postawili za główny cel wyciągnięcie wniosków dotyczących procesów kluczowych, które są zdeterminowane rozmieszczeniem elementów sterowniczych. Zakresy regulacji zaproponowane przez konstruktorów maszyny transportowej, jaką jest wózek widłowy, kształtują pozycję operatora i wpływają na obciążenie układu ruchu. Do podstawowych elementów układu sterowniczego wózka widłowego należy zaliczyć:

1. Dźwignia hamulca postojowego;
2. Dźwignie do sterowania kierunkiem jazdy;
3. Koło kierownicy;
4. Zintegrowane centrum kontroli;
5. Przycisk klaksonu;
6. Przełącznik kierunkowskazów i przełącznik światła;

7. Dźwignia podnoszenia;
8. Dźwignia pochylenia;
9. Przycisk wyłączenia dźwigni pochylenia;
10. Dźwignia wyposażenia dodatkowego;
11. Włącznik zapłonu;
12. Pedał przyśpiesznika;
13. Pedał hamulca nożnego;
14. Pedał sprzęgła i zwolnienia prędkości pojazdu;
15. Dźwignia ustawienia kolumny kierownicy;
16. Dźwignia zwolnienia zamka pokrywy silnika;
17. Wyświetlacz DPF (wyposażenie specjalne).

Ważnym elementem zwiększającym bezpieczeństwo pracy są przyrządy wspomagające pracę operatora wózka widłowego (Dokumentacja techniczno-ruchowa...):

1. Licznik motogodzin (służy także dla diagnozy SAS;
2. Ciśnienie oleju w silniku – lampka ostrzegawcza;
3. Osad na dnie zbiornika paliwa – lampka ostrzegawcza;
4. Lampka sygnalizująca żarzenie (moduł z silnikiem 1 DZ-II), lampka sygnalizacyjna nagrzewania (model z silnikiem 2 Z);
5. Filtr powietrza – lampka ostrzegawcza;
6. Ładowanie – lampka ostrzegawcza;
7. Wskaźnik temperatury wody chłodzącej;
8. Wskaźnik paliwa;
9. SAS – lampka ostrzegawcza – model z SAS;
10. Lampka sygnalizacyjna blokady wychylenia;
11. Sterowanie prędkości jazdy – lampka ostrzegawcza (wyposażenie specjalne).

Na wstępie badań sprawdzono analizowane urządzenie (wózek widłowy firmy Toyota 7FGL18) za pomocą listy kontrolnej do oceny minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie użytkowania maszyny przez pracowników podczas pracy (Król et al., 2007). Składała się ona z 66 pytań, które zostały podzielone na pięć kategorii:

1. ogólne – 43 pytania,
2. dotyczące maszyny ruchomej przewożącej pracowników – 3 pytania,
3. maszyn z własnym napędem – 9 pytań,
4. urządzeń do podnoszenia ładunków – 9,
5. wymagania uzupełniające – 2 pytania.

Analiza minimalnych wymagań wykazała, że operator nie ma możliwości sprawdzenia z miejsca sterowania, czy nikt nie znajduje się w strefie niebezpiecznej, niemniej posiada on możliwość automatycznego wysłania sygnału optycznego względnie akustycznego, przed uruchomieniem maszyny. Stwierdzono również, że elementy sterownicze przeznaczone do zatrzymania maszyny nie znajdują się na każdym stanowisku sterowniczym, jak również urządzenie nie jest zabezpieczone przed pożarem, nie jest wyposażone w odpowiednie urządzenia przeciwpożarowe.

Ocena wykazała, że wózek widłowy spełnia minimalne wymagania bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie użytkowania.

Prezentując możliwości zastosowania aplikacji 3DSSPP w analizie biomechanicznej, dokonano wyboru celowego dwóch operatorów o dużym zróżnicowaniu cech antropometrycznych reprezentujących w zakresie zasięgów kończyn górnych górne i dolne przedziały wymiarów granicznych:

– operator 1 – wysokość ciała 175 cm; masa: 120 kg;

– operator 2 – wysokość ciała 165 cm; masa: 80 kg.

Aplikacja umożliwia dokonywanie symulacji obciążeń dla różnych sił lub momentów sił oddziaływań kończynami górnymi na urządzenia sterownicze. Dzięki temu możliwe jest określenie granicznych wartości, przy których nie dochodzi do przeciążeń (czyli przekroczenia wartości granicznych określonych przez autorów modelu dla poszczególnych segmentów układu ruchu i mięśni).

5. WNIOSKI Z BADAŃ

Przeprowadzona analiza obciążeń układu kostno-stawowego i mięśniowego za pomocą aplikacji 3DSSPP, dwóch operatorów obsługujących wózki widłowe pozwoliła na porównanie wartości narażeń i przygotowanie wniosków dotyczących koncepcji zmian (tab. 3).

Podstawowe wyniki (raporty) generowane przez aplikację widoczne są w oknie głównym (rys. 1–8). Zawierają one między innymi:

– 3D Low Back Compression L4/L5 [N] – rozkład sił działających na dysk pomiędzy 4 i 5 kręgiem odcinka lędźwiowego kręgosłupa;

– Strength Percent Capable (SPC) – odsetek akceptowalnej siły; wyróżniono trzy kolorowe strefy:

a) Strength Design Limit (SDL) – Graniczna projektowana siła (wartość graniczna działania według zaleceń NIOSH) (odpowiednik AL – Action Limit (granica działania) według NIOSH); określona na kolorowym pasku od wartości 99% w dół dla mężczyzn i od 75% w dół dla kobiet (pomiędzy kolorem żółtym i zielonym);

b) Strength Upper Limit (SUL) – Górna graniczna siła (maksymalna dozwolona siła (odpowiednik MPL – Maximum Permissible Limit – maksymalna wartość graniczna); określona na kolorowym pasku od wartości 25% w dół dla mężczyzn i od 1% w dół dla kobiet (pomiędzy kolorem czerwonym i żółtym).

Pozostałe parametry zawierające informacje o położeniu kątowym segmentów układu ruchu, siłach i momentach sił działających na stawy i mięśnie, zawierają opisy możliwe do otwarcia z menu głównego aplikacji.

Dokonano analizy 14 czynności realizowanych z różną częstotliwością przez operatorów wózka. Liczba ta jest związana z wymienionymi wcześniej urządzeniami sterowniczymi, które determinują pozycję operatora. Zbadano obciążenia układu ruchu podczas następujących czynności:

1. Wsiadanie na miejsce kierowcy;
2. Podnoszenie wideł;
3. Opuszczanie wideł;
4. Pochylanie wideł do przodu;
5. Odchylanie wideł w tył;
6. Przesuwanie wideł w prawo;
7. Przesuwanie wideł w lewo;
8. Zaciągnięcie hamulca postojowego;
9. Zwalnianie hamulca postojowego;
10. Jazda tyłem;
11. Przełączanie kierunkowskazów;
12. Jazda do przodu;
13. Obserwacja ładunku w górnym położeniu wideł;
14. Wysiadanie z miejsca kierowcy;

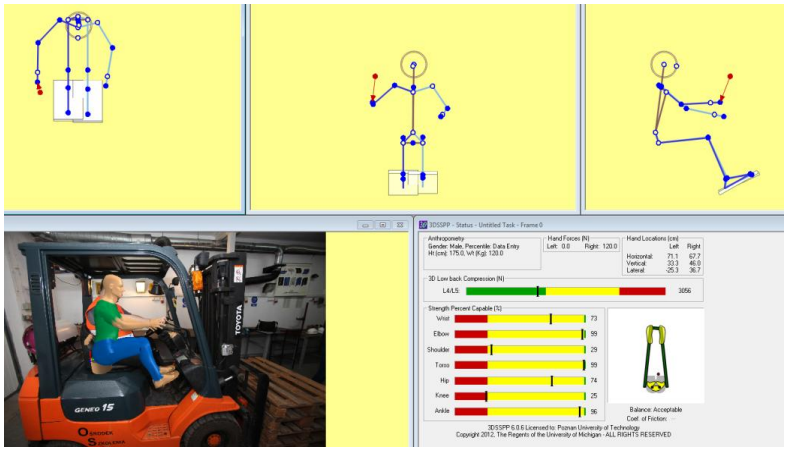
Ponieważ obciążenia zależne są od sił działających na kończyny, więc proces badania musi uwzględniać pomiar sił oddziaływania na elementy sterownicze. Analiza możliwa jest dla kilku wariantów, np.:

- identyfikacja sił granicznych oddziaływania na elementy sterownicze sygnalizowana przez przekroczenie granicy SUL: należy ustalić za pomocą programu 3DSSPP wartości sił przyłożonych do rąk, dla których osiągnięta będzie wartość SUL, a następnie dokonać pomiaru sił rzeczywistych i zidentyfikować ewentualne przekroczenia;
- identyfikacja rzeczywistego rozkładu obciążeń układu ruchu operatorów: należy dokonać pomiary sił oddziaływania elementu sterowniczego w warunkach rzeczywistych (np. za pomocą czujników tensometrycznych umiejscowionych pomiędzy ręką a urządzeniem), a następnie wprowadzić zmierzoną wartość do aplikacji 3DSSPP, odczytując, czy siła spowodowała przekroczenie SUL czy też SDL;
- wprowadzenie wartości dopuszczalnych sił oddziałujących na ręce w aplikacji 3DSSPP dla obsługi elementów sterowniczych zgodnie np. z normą PN-EN 894-3 i weryfikacja przekroczeń SUL lub SDL: konieczne jest dokonanie pomiarów sił rzeczywistych i porównanie ich z analizowanymi w programie, a następnie w przypadku przekroczeń, wykonanie ponowne w 3DSSPP analizy obciążeń dla wartości rzeczywistych.

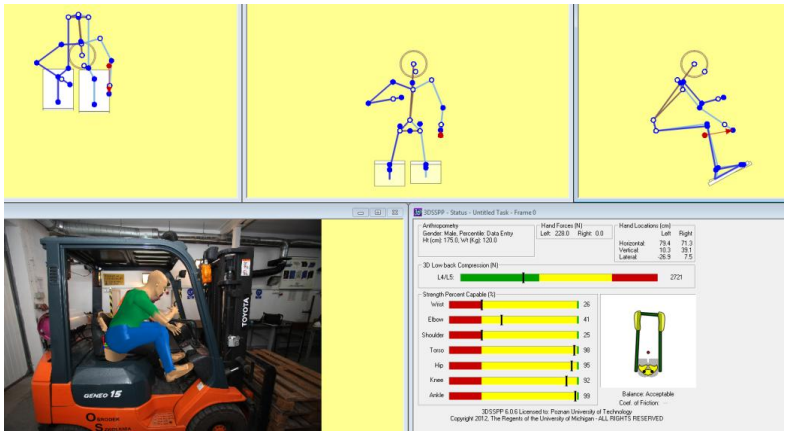
Wariant I i III wymaga zastosowania dynamometru do pomiaru sił i/lub momentów sił, a wariant II – tensometrów.

W niniejszym artykule autorzy, chcąc zaprezentować możliwości aplikacyjne narzędzia 3DSSPP, zaprezentowali wyniki zastosowania wariantu I, bez pomiaru i porównywania sił rzeczywistych. Zidentyfikowano więc tylko wartości dopuszczalne oporów stawianych przez elementy sterownicze wózka widłowego. Ze względu na różnice w cechach antropometrycznych operatorów, odmienne będą również wartości dopuszczalnych oporów.

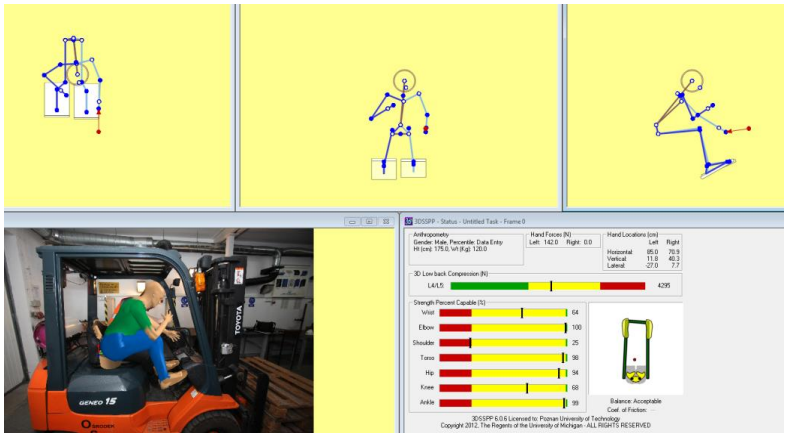
Dla każdej z 14 czynności realizowanych przez operatora wózka wykonywano fotografie pozycji kluczowych w płaszczyźnie strzałkowej i czołowej, a następnie nakładano na postać operatora na zdjęciach cyfrowy model człowieka (Digital Human Model – DHM) (rys. 1–8). Manipulując wartościami sił przyłożonych do rąk, otrzymano wartości SUL. Symulacje ułożenia segmentów układu ruchu pozwalają na wskazanie pozycji i alternatywnego rozmieszczenia i ukształtowania elementów sterowniczych.



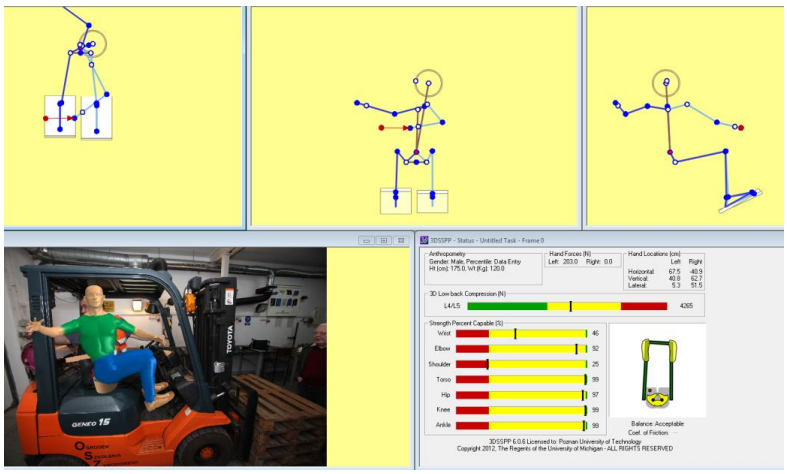
Rys. 1. Widok ekranu programu 3DSSPP z analizą czynności: podnoszenie wideł. Badany o masie 120 kg. SPC: nadgarstek 73%; – SDL; łokieć 99% – SDL; ramię 29%; – SDL; tułów 99%; – SDL; biodro 74%; – SDL; kolano 25%; – SUL; staw skokowy 96%; – SDL; siła lewej ręki = 0 N, siła prawej ręki = 120 N; L4/L5 = 3056 N



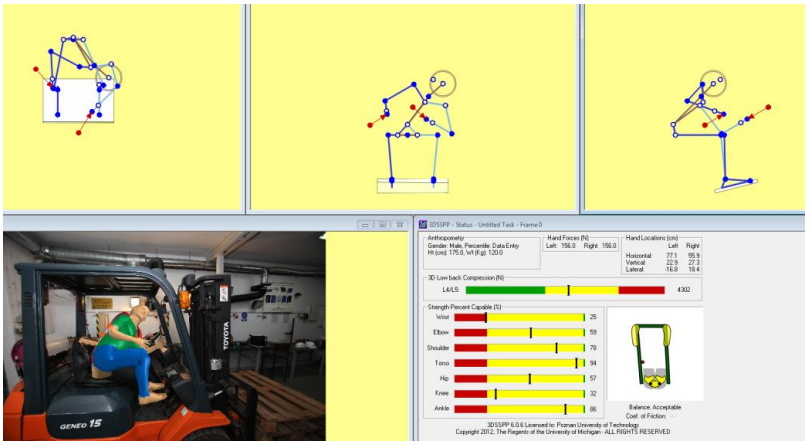
Rys. 2. Widok ekranu programu 3DSSPP z analizą czynności: zaciąganie hamulca postojowego. Badany o masie 120 kg. SPC: nadgarstek 26% – SDL; łokieć 41% – SDL; ramię 25% – SUL; tułów 98% – SDL; biodro 95% – SDL; kolano 92% – SDL; staw skokowy 99% – SDL; siły – lewa ręka = 228 N, prawa ręka = 0 N; L4/L5 = 2721 N



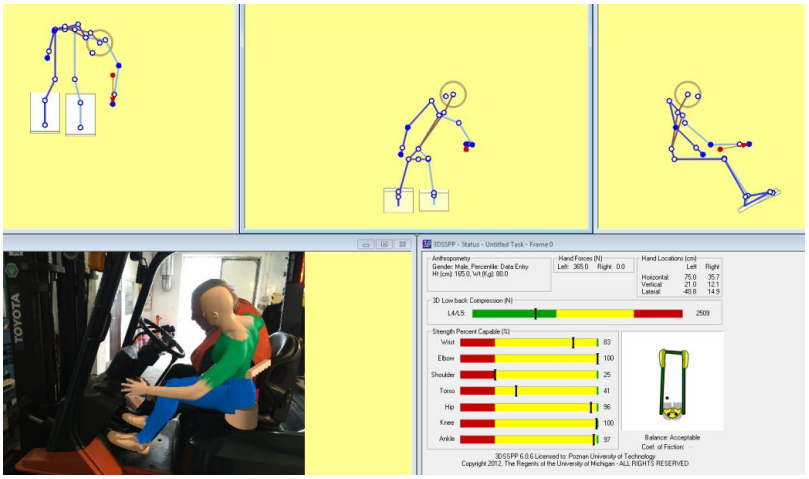
Rys. 3. Widok ekranu programu 3DSSPP z analizą czynności: zwalnianie hamulca postojowego. Badany o masie 120 kg. SPC: nadgarstek 64% – SDL; łokieć 100%; – SDL; ramię 25% – SUL; tułów 98% – SDL; – biodro 94% – SDL; kolano 68% – SDL; – staw skokowy 99% – SDL; siły – lewa ręka = 142 N; prawa ręka = 0 N; L4/L5 = 4295 N



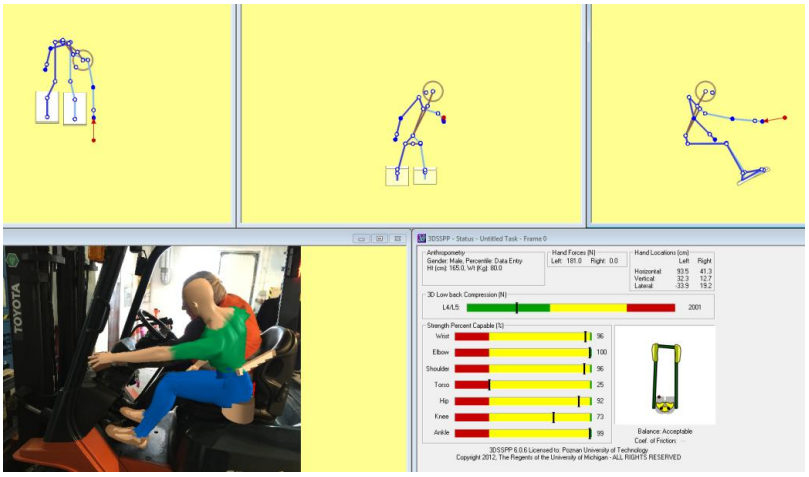
Rys. 4. Widok ekranu programu 3DSSPP z analizą czynności: jazda tyłem. Badany o masie 120 kg. SPC: nadgarstek 46% – SDL; łokieć 92% – SDL; ramię 25% – SUL; tułów 99% – SDL; biodro 97% – SDL; kolano 99% – SDL; staw skokowy 99% – SDL; siły – lewa ręka = 203 N, prawa ręka = 0 N; L4/L5 = 4265 N



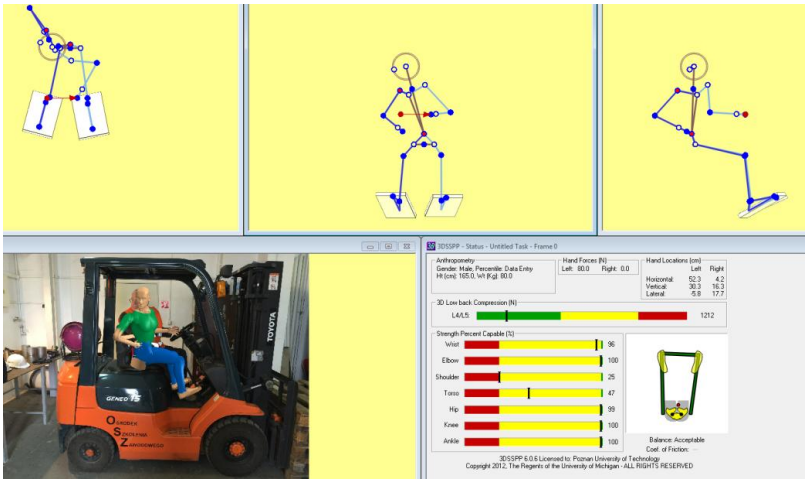
Rys. 5. Widok ekranu programu 3DSSPP z analizą czynności: obserwacja ładunku w górnym położeniu wideł (przy np. skręcie w prawo i wychyleniu z kabiny). Badany o masie 120 kg. SPC: nadgarstek 25% – SUL; łokieć 59% – SDL; ramię 78% – SUL; tułów 94% – SDL; biodro 57% – SDL; kolano 32% – SDL; staw skokowy 86% – SDL; siły – lewa ręka = 156 N, prawa ręka = 156 N; L4/L5 = 4302 N



Rys. 6. Widok ekranu programu 3DSSPP z analizą czynności: zaciąganie hamulca postojowego. Badany o masie 80 kg. SPC: nadgarstek 83% – SDL; łokieć 100% – ramię 25% – SUL; tułów 41% – SDL; biodro 96% – SDL; kolano 100% – SDL; staw skokowy 97% – SDL; siły: lewa ręka = 365 N, prawa ręka = 0 N; L4/L5 = 2509 N



Rys. 7. Widok ekranu programu 3DSSPP z analizą czynności: zwalnianie hamulca postojowego. Badany o masie 80 kg. SPC: nadgarstek 96% – SDL; łokieć 100% – ramię 96% – SDL; tułów 25% – SUL; biodro 92% – SDL; kolano 73% – SDL; staw skokowy 99% – SDL; siły – lewa ręka = 181 N, prawa ręka = 0 N; L4/L5 = 2001 N (strefa zielona)



Rys. 8. Widok ekranu programu 3DSSPP z analizą czynności: jazda tyłem. Badany o masie 80 kg. SPC: nadgarstek 96% – SDL; łokieć 100%; ramię 25% – SUL; tułów 47% – SDL; biodro 99% – SDL; kolano 100%; staw skokowy 100%; siły – lewa ręka = 80 N, prawa ręka = 0 N; L4/L5 = 1212 N (strefa zielona)

Tabela 3. Analiza porównawcza obciążeń układów ruchu badanych operatorów wózków widłowych Toyota 7FGL18 dla 14 czynności operatorskich (źródło: opracowanie własne)

L.p.	Nazwa czynności	Odsetek akceptowalnej siły (SPC)													
		Nadgarstek		Łokieć		Ramię		Tułów		Biodro		Kolano		Staw skokowy	
		Operator 1	Operator 2	Operator 1	Operator 2	Operator 1	Operator 2	Operator 1	Operator 2	Operator 1	Operator 2	Operator 1	Operator 2	Operator 1	Operator 2
1	Wsiadanie na miejsce kierowcy;	98	**25**	100	95	100	73	75	28	41	85	98	97	**25**	89
2	Podnoszenie wideł;	73	73	99	98	29	**25**	99	100	74	92	**25**	92	96	99
3	Opuszczanie wideł;	26	**25**	**25**	89	78	84	100	100	96	98	95	100	99	99
4	Pochylanie wideł do przodu;	82	76	98	98	**25**	**25**	99	99	76	84	29	79	97	99
5	Odchylanie wideł w tył;	**25**	**25**	30	32	61	34	100	100	89	81	100	99	90	85
6	Przesuwanie wideł w prawo;	39	34	**25**	**25**	50	33	100	100	97	91	98	99	98	91
7	Przesuwanie wideł w lewo;	86	75	98	97	45	**25**	99	99	74	80	**25**	81	96	98
8	Zaciągnięcie hamulca postojowego;	26	83	41	100	**25**	**25**	98	41	95	96	92	100	99	97
9	Zwalnianie hamulca postojowego;	64	96	100	100	**25**	96	98	**25**	94	92	68	73	99	99
10	Jazda tyłem;	46	96	92	100	**25**	**25**	99	47	97	99	99	100	99	100
11	Przełączanie kierunko-wskazów;	48	39	100	100	**25**	**25**	99	95	97	100	91	100	99	100
12	Jazda do przodu;	86	98	97	100	59	81	**25**	**25**	83	92	50	89	97	99
13	Obserwacja ładunku w górnym położeniu wideł;	**25**	55	59	100	78	47	94	66	57	80	32	100	86	95
14	Wysiadanie z miejsca kierowcy;	99	**25**	100	94	**25**	85	99	100	88	98	68	58	100	100

Z analizy 14 czynności wybranych do analizy biomechanicznej operatorów wynika, że przy zwiększaniu siły oporu elementów sterowniczych można osiągnąć najczęściej wartości graniczne oddziaływania dla ramion i nadgarstków (wartość 25% w tabeli 3). Wyniki zapisane pod rysunkami, wskazują, że mimo iż częściej u operatora 2 przeciążane są kończyny górne, to siły graniczne (SUL) je powodujące są znacznie wyższe niż u operatora 1. Pozycje przyjmowane przez operatora 1 wskazują na niedopasowanie do cech wymiarowych kabiny badanego wózka widłowego.

Wśród czynności, które kształtują u operatorów najbardziej niekorzystne pozycje, wyróżnić można:

– obserwację ładunku w górnym położeniu wideł,

– manipulacje widłami za pomocą dźwigni umiejscowionych z prawej strony operatorów;

– manipulacje dźwignią hamulca ręcznego.

Działania prewencyjne, które należałoby zastosować w przypadku analizowanego wózka, powinny dotyczyć rozmieszczenia w strefach pracy kończyn górnych urządzeń sterowniczych odpowiedzialnych za wymienione wyżej działania. Ponieważ większość wyników znalazła się w strefie żółtej (SDL), a więc w strefie działania, konieczne jest rozważenie prac modernizacyjnych lub regulacyjnych również dla urządzeń sterowniczych wykorzystywanych przy tych czynnościach.

Ponieważ korzystając z dostępnych na rynku typów wózków, pracodawcy nie mogą ingerować w konstrukcję, należy dążyć do uważnego poświęcenia czasu na działania regulacyjne dopasowujące stanowisko pracy do operatora. Powinnością pracodawcy jest minimalizacja lub eliminacja oddziaływania czynników uciążliwych w środowisku pracy. Działania zmierzające do tego celu mogą być wprowadzone na etapie procesu projektowania (ergonomia koncepcyjna), bądź poprzez wdrożenie nowych rozwiązań w zakresie organizacji pracy (np. zapewnienie nadzoru podczas wykonywania prac transportowych i innych). W większości przypadków podjęcie tych działań niekoniecznie wiąże się z poniesieniem wysokich kosztów.

W przypadku wózków widłowych producenci starają się ulepszać swoje produkty by były wydajniejsze i jednocześnie bardziej ergonomiczne. Zastosowanie wspomnianego oprogramowania pozwala na dostosowanie poszczególnych egzemplarzy wózków widłowych do indywidualnych potrzeb i konfrontować je z możliwościami fizjologicznymi i manualnymi operatorów. Temu celowi służą również postulaty wystosowywane przez samych operatorów, które powinny być brane pod uwagę przy zakupie nowych wózków, czy też modernizacji używanych.

W badanym podmiocie gospodarczym można wyróżnić kilka postulatów, których spełnienie może wydatnie wpłynąć na bezpieczeństwo, wydajność i komfort pracy. Wprowadzenie w życie nowych rozwiązań jest niejednokrotnie kosztowne, dlatego ważne jest, aby były to zmiany rozsądne, leżące w granicach możliwości finansowych i organizacyjnych podmiotu gospodarczego.

Pierwszym postulatem jest dostosowanie kokpitu wózka widłowego do fizjologicznych warunków operatorów. Należałoby podzielić operatorów na grupy we-

dług wzrostu i wieku, z jak najmniejszymi różnicami w konkretnej grupie i przydzielać im wózki dostosowane do nich. Zmiany w kokpitach są możliwe bezpośrednio u producenta. Istnieje też możliwość wymiany niektórych części kokpitu na mniejsze bądź większe na miejscu. Czynności te mogą wykonać pracownicy serwisu, którzy dotrą na miejsce w celu dokonania wymiany. Dobrym rozwiązaniem byłoby ustalenie możliwej wymiany części kokpitu z producentem podczas zakupu nowego wózka.

Drugim postulatem jest zakup i zamontowanie małych kamer w tyłach wózków widłowych. Kamery takie pokazywałyby widok z tyłu wózka na monitorze zamieszczonym na pulpicie. Jest to na tyle istotne, że wyjeżdżając tyłem, operator polega tylko na widoku w lusterkach bocznych i używa jednocześnie sygnałów dźwiękowych. Mimo tego gabaryty wózka ograniczają w znacznym stopniu widok i powodują zagrożenie dla innych wózków poruszających się w pobliżu. Widok z kamer znacznie poprawiłby bezpieczeństwo oraz pozytywnie wpłynął na obciążenie biomechaniczne operatora.

Trzecim postulatem jest wprowadzenie regularnych ćwiczeń aerobowych w trakcie pracy. Ćwiczenia takie odbywałyby się dwa razy podczas jednej zmiany, czyli po 2 i po 6 godzinach pracy i trwałyby 5 minut.

Wymienione powyżej postulaty mające na celu poprawę ergonomiczności wózków widłowych są trudne do wdrożenia, niekiedy kosztowne, lecz mają za zadanie usprawnić pracę, zwiększyć jej bezpieczeństwo i wydajność, przy jednoczesnym zadbaniu o stan zdrowia pracowników, ich samopoczucie, wygodę i poczucie bezpieczeństwa.

LITERATURA

1. Center for Ergonomics, http://c4e.engin.umich.edu/tools-services/3dsspp-software. Pobrano: 30 maja 2016.
2. Chaffin, D.B. (1992). *Biomechanical Modeling for Simulation of 3D Static Human Exertions, in Computer Applications in Ergonomics, Occupational Safety and Health*, ed. M. Mattila and W. Karwowski, Elsevier Science Publishers, N.Y.
3. Dahlke G. (2014). Modelowanie symulacyjne w ergonomii i bezpieczeństwie pracy, *Organizacja i Zarządzanie*, 63, 22.
4. Dahlke G., Górny A., Horst W. (2013). *Zarządzanie uciążliwością i bezpieczeństwem pracy*, Poznań: Wyd. Politechniki Poznańskiej, 20-37.
5. Dokumentacja techniczno-ruchowa wózka widłowego TOYOTA serii 7FGL18.
6. Konarska M. (2007). Ergonomia w dyrektywach i normach, *Bezpieczeństwo Pracy* 1, Warszawa: CIOP, PIB.
7. Król H., Ludwiczyński A. (2014). *Zarządzanie zasobami ludzkimi, Tworzenie kapitału ludzkiego organizacji*, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 17.
8. Lis K. (2007). *Poradnik w zakresie wdrożenia dyrektywy 2006/42/WE w sprawie maszyn*, Kraków-Poznań-Tarnobrzeg: Wydawnictwo Tarbonus, 12.

9. Łukasiewicz G. (2009). *Kapitał ludzki organizacji, Pomiar i sprawozdawczość,* Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 14-23.
10. *European Working Conditions Surveys, Ed. European Fundation for the Improvement of Living and Working Conditions,* 2003, Dublin.
11. Górska E. (2007). *Ergonomia, projektowanie, diagnoza, eksperymenty*, Warszawa: Oficyna Wydawnicza Biblioteki Warszawskiej, 308-313.
12. Michalski L., Nowak-Borysławski P. (2014). *Wózki jezdniowe. Praktyczny poradnik do szkoleń*, Wyd. TARBONUS, Kraków–Tarnobrzeg, 38.
13. *Monitoring the state of occupational safety and health in the European Union*, European Agency for Safety and Health at Work, 2000, Bilbao.
14. Mrugalska B. (2013). *Organizational industrial practices on the basis of physical load, w. Human factors in economics and organizational design,* Poznań: Publishing House of Poznan University of Technology, 85-95.
15. *Obwieszczenie prezesa PKN z dnia 19 grudnia 2003 roku w sprawie wykazu norm zharmonizowanych* (MP z 2004 nr 7, poz. 117 ze zm).
16. Olszewski J. (2013). *System pracy w warunkach globalnego społeczeństwa informacyjnego,* Poznań: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, 246-249.
17. Pawelec W., Rychlik M., Rzewpnicka A. 2015. Analiza przeciążeń układu mięśniowo-szkieletowego kończyny górnej u zawodowych skrzypków, W. *Wybrane kierunki badań ergonomicznych w 2015 roku, Zastosowanie ergonomii*, red. J. Charytonowicz, Wrocław: Wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Ergonomicznego we Wrocławiu.
18. Górska E. (red.) 2007. *Projektowanie stanowisk pracy dla osób niepełnosprawnych*, Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 6773.
19. Horst W. (red.) (2006). *Ergonomia z elementami bezpieczeństwa pracy,* Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 27-59.
20. Tabora A. (red.) (2003). *Zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy. Ochrona pracy w Polsce w świetle przepisów ustaw, norm, dyrektyw i innych aktów prawnych,* Kraków: Politechnika Krakowska, Centrum Szkolenia i Organizacji Systemów Jakości, 69-263.
21. Romanowska-Słomka I., Słomka A. (2014). *Ocena ryzyka zawodowego,* Kraków-Tarnobrzeg: Wyd. Tarbonus.
22. Schaub K.G., Muhlstedt J., Illmann B., Bauer S., Frtzsche L., Wagner T., Bulinder-Hoffmann A.C., Bruder R. (2012). 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, No. ¾.
23. Sławińska M. (2008). *Ergonomia systemów zautomatyzowanych,* Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 42-47.
24. Tytyk E. (2009). Inżynieria ergonomiczna jako komponent inżynierii zarządzania jakością warunków pracy, W: *Ergonomia – technika i technologia – zarządzanie*, red. M, Fertsch, Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 81-97.
25. Wieczorek S. (2014). *Ergonomia,* Kraków-Tarnobrzeg: Wyd. Tarbonus, 227, 228, (badanie pracy).
26. Wieczorek S., Żukowski P. (2014). *Organizacja bezpiecznej pracy*, Kraków-Tarnobrzeg: Wyd. Tarbonus, 35-36.
27. Wykowska M. (2009). *Ergonomia jako nauka stosowana*, Kraków: AGH, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, 57-71.
28. Zieliński L. (2016). *22 zadanie służby bhp. Standardy działania*, Kraków: Wydawnictwo SIGMA-NOT, 95-96.

THE USE OF DIGITAL HUMANOID MODELS IN THE OPTIMIZATION OF THE WORK OF FORKLIFT TRUCK OPERATORS

Summary

The article discusses the use of digital humanoid models in the optimization of the work of forklift truck operators. The creation of safe and healthy working conditions is an important issue in the organization of the work. According to the authors of the study, this goal can be achieved by the application of digital humanoid models in the analysis of forklift truck ergonomics. The results of the research can be used to create an optimal relationship between the supported device and the studied forklift operators who have certain anthropometric variables. The analysis of the burden on the osteoarticular system and muscles of two forklift truck operators, using the 3DSSPP application, will allow employers to take steps to minimize and eliminate burdensome factors in the work environment. Actions in this regard may be introduced during the design process (conceptual ergonomics), or through the implementation of new solutions in the organization of work (e.g. providing supervision during transport and other types of work). In most cases, these actions do not necessarily incur high costs.

Keywords: ergonomics, 3DSSPP, digital human model