

Anna ZWOLANKIEWICZ*, Wiktoria CZERNECKA**

ANALIZA PORÓWNAWCZA MODELI KOMPUTEROWYCH DO OCENY OBCIĄŻEŃ BIOMECHANICZNYCH

DOI: 10.21008/j.0239-9415.2018.078.18

Obecnie można zaobserwować coraz większe zainteresowanie przedsiębiorców warunkami pracy. Związane jest to z dostrzeganiem zwiększenia wydajności pracowników spowodowanym zapewnieniem im ergonomicznych stanowisk i narzędzi pracy, dostosowanych do ich cech antropometrycznych. Coraz częściej przeprowadza się więc badania, mające na celu analizowanie stanowisk pracy pod kątem ergonomii, a także projektuje się nowe stanowiska, które pozwalają na zmniejszenie obciążenia podczas wykonywania pracy. Na znaczeniu zyskują więc programy do projektowania ergonomicznych systemów antropotechnicznych, które pozwalają ergonomistom na wskazanie pracodawcom korzyści wynikających z kształtowania stanowisk pracy z uwzględnieniem możliwości biomechanicznych człowieka, a także pozwalają na zaprojektowanie stanowisk i narzędzi pracy. Istnieje wiele takich programów, różniących się możliwymi do przyjęcia kryteriami oraz szczegółowością wykonywanej analizy, a także kosztem ich wykorzystania i sposobem raportowania. Celem tego artykułu jest przedstawienie najpopularniejszych programów do projektowania ergonomicznych systemów antropotechnicznych, wraz ze wskazaniem podobieństw i różnic w ich zastosowaniu.

Słowa kluczowe: ergonomia, obciążenie biomechaniczne, model komputerowy

1. WPROWADZENIE

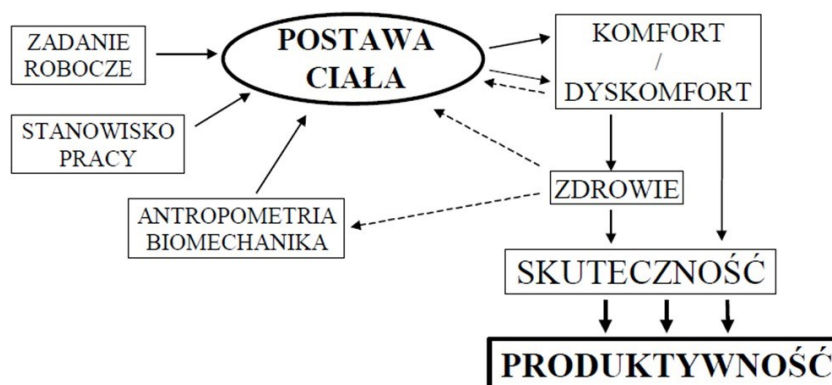
1.1. Zasady projektowania ergonomicznego

Zainteresowanie zarządzających przedsiębiorstwami warunkami ergonomicznymi pracy objawia się przede wszystkim w kształtowaniu stanowisk biurowych, ale coraz częściej zwraca się także uwagę na te czynniki w działalności produkcyj-

* Wydział Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej.

** Doktorant Wydziału Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej.

nej, gdzie pracownicy wykonują pracę o dużym stopniu powtarzalności, w pozycji siedzącej lub stojącej. Powoduje to zwyrodnienia i może prowadzić do trwałych zmian w narządach ruchu pracownika (Regiopraca, 2018). Warunki pracy mogą znacząco wpływać na zdrowie i samopoczucie pracownika (zarówno pozytywnie, jak i negatywnie) i decydują jednocześnie o jego wydajności i produktywności w procesie pracy (rys. 1).



Rys. 1. Wpływ warunków pracy na skuteczność i zdrowie pracownika
(Garnik, 2000, s. 72)

Należy zwrócić uwagę na to, że na postawę ciała pracownika mogą wpływać: rodzaj zadania roboczego, zorganizowanie stanowiska pracy, a także uwzględnienie, bądź nieuwzględnienie uwarunkowań antropometrycznych (indywidualnych cech pracownika) i biomechanicznych (związanych z fizjologią i oddziaływaniem sił na człowieka podczas wykonywania czynności roboczych). Postawa ciała podczas pracy kształtuje natomiast poczucie komfortu pracownika oraz jego zdrowie, co w efekcie decyduje o skuteczności i produktywności podejmowanych przez niego działań (Garnik, 2000, s. 72; Winkler, 2005, s. 72). Zapewnienie zdrowia pracownika poprzez kształtowanie ergonomicznych aspektów pracy powinno być zatem przedmiotem zainteresowania nie tylko przedsiębiorstw z dużą ilością stanowisk komputerowych, ale także firm produkcyjnych.

Wzrasta więc znaczenie projektowania ergonomicznego, którego definicja według profesora Edwina Tytyka brzmi: *Projektowanie ergonomiczne jest to realizacja takiego procesu projektowania, który stwarza największe szanse uzyskania projektu systemu: człowiek – obiekt techniczny o pożądanym poziomie ergonomicznej jakości* (Górska, Tytyk, 1998, s. 63). Przedmiotem takiego projektowania jest system człowiek–obekt techniczny (system składający się z podsystemu ludzkiego oraz technicznego), w którym należy uwzględniać podział zadań między oba te podsystemy (Górska, 2002, s. 43-45). Można wyróżnić następujące fazy projektowania ergonomicznego:

- opracowanie założeń ergonomiczno-techniczno-ekonomicznych (obejmujących m.in. określenie zapotrzebowania na wykonanie zadania produkcyjnego, specyfikację zadań projektowanego systemu, podział tych zadań na realizowane przez człowieka i środki techniczne),
- opracowanie projektu wstępnego (obejmującego zaprojektowanie metody pracy, pozycji ciała, przestrzeni manipulacyjnej człowieka, a także architektury środków technicznych oraz stref manipulacji maszyn),
- opracowanie projektu szczegółowego (na który składają się: prognoza obciążeń, projekt czasu i tempa pracy oraz dobór narzędzi ręcznych i mechanicznych – całość składa się na wykonanie prototypu) (Jasiak, Misztal, 2004, s. 22).

Podczas projektowania ergonomicznego projektant powinien także uwzględnić kryteria projektowe, które odnoszą się do: procesu pracy (np. zadania człowieka, optymalizacja fizycznego i psychicznego obciążenia człowieka, struktura ruchów roboczych, tempo i rytm pracy), przestrzeni pracy (np. zakres zmienności pozycji ciała, przestrzeń pracy rąk i nóg, rozmieszczenie materiałów i pomocy warsztatowych), elementów informacyjnych, sygnalizacyjnych i sterowniczych (np. ich rozmieszczenie i dobór), środowiska fizyczno-chemiczno-biologicznego (np. źródła zanieczyszczeń powietrza, źródła światła, źródła szkodliwych substancji) (Tytyk, 2001, s. 107).

Nawiązując do tematyki niniejszego artykułu, warto zauważyć, że osoba projektująca procesy pracy pod względem ergonomii, powinna w pierwszej kolejności zapoznać się z zasadami projektowania ergonomicznego, a dopiero potem korzystać z programów komputerowych do modelowania obciążeń biomechanicznych. Znajomość podstaw projektowania ergonomicznego pozwala bowiem na prawidłowe korzystanie z oprogramowania, a także na zauważenie ich ograniczeń.

1.2. Projektowanie ergonomiczne z wykorzystaniem programów komputerowych

Projektowanie ergonomiczne, które zostało szeroko opisane w poprzednim podrozdziale, jest w dzisiejszych czasach bardzo często wspomagane programami komputerowymi. Jedne z bardziej popularnych oprogramowań do przeprowadzania analiz obciążeń posturalnych to: programy typu CAD, AnyBody, 3DSSPP, Jack. Programy te różnią się stopniem zaawansowania, wymaganymi do projektowania danymi, sposobem prezentacji wyników, a także stopniem dokładności. Powinny być zatem dobierane ze względu na oczekiwany przez projektanta wynik modelowania, a także posiadane dane wstępne.

Wykorzystanie możliwości komputerowych do kreowania stanowisk pracy uwzględniających elementy schematu człowiek – obiekt techniczny, ma wiele zalet. Liczne pozytywne zostały opisane w książce Górskiej oraz Tytyka i są to między innymi (Górska, Tytyk, 1998, s. 78):

- znaczna redukcja czasu projektowania,

- możliwość przeprowadzenia „burzy mózgów” z innymi projektantami, poprzez połączenie internetowe,
- szybka wymiana informacji między projektantami,
- proste wprowadzanie korekt do istniejących projektów,
- obniżenie kosztów uzyskania oczekiwanego rezultatu.

Jak można zauważyć z powyższego zestawienia, komputerowe wspomaganie projektowania systemów antropotechnicznych znacznie ułatwia i przyspiesza pracę projektantów. Warto w tym miejscu odpowiedzieć na pytanie: dlaczego tak jest? Czy tradycyjne metody są niewystarczające? Czy może tylko projektowanie komputerowe pozwala na uwzględnienie wszystkich niezbędnych kryteriów? Aby odpowiedzieć na powyższe pytania, poniżej zostaną przedstawione elementy uwzględniane w programach komputerowych do projektowania biomechanicznego (Górska, Tytyk, 1998, s. 79):

- czynnik ludzki – możliwość wprowadzenia indywidualnych danych (m.in. wiek, wzrost, płeć, wzrost),
- czynnik ludzki – gotowe modele centylowe,
- ocena sił statycznych,
- ocena sił dynamicznych,
- dwuwymiarowy model ciała człowieka (2D),
- trójwymiarowy model ciała człowieka (3D),
- animacja i symulacja ruchu,
- generowanie raportów ergonomicznych.

Trudno nie zgodzić się z tym, że programy komputerowe dają projektantowi znacznie szerszy wachlarz możliwości niż tradycyjne metody modelowania obciążeń biomechanicznych. Jednak nawet oprogramowanie komputerowe nie daje pewności, że osoba projektująca w pełni wykorzysta jego możliwości. Dodatkowo w programach komputerowych tak jak w modelach tradycyjnych nie sposób uwzględnić wszystkich elementów schematu człowiek – obiekt techniczny, ponieważ skupiają się one głównie na pozycji ciała przy pracy i obciążeniach z niej wynikających, pomijając takie elementy jak materialne czynniki środowiska pracy (m.in. hałas, mikroklimat, promieniowanie szkodliwe) oraz obciążenie psychiczne wynikające z wykonywania czynności roboczych na danym stanowisku pracy.

2. OPIS WYBRANYCH PROGRAMÓW PROJEKTOWYCH

2.1. Opis wybranych programów do projektowania – 3DSSPP oraz JACK

W niniejszym artykule autorki skupią się na przedstawieniu porównania programów do projektowania ergonomicznego i ustalenie sposobu ich doboru, na przy-

kładzie analizy porównawczej modeli programów 3DSSPP oraz Jack. Na wstępie zostanie przedstawiony krótki opis poszczególnych programów.

Program 3DSSPP (3D Static Strength Prediction Program; University of Michigan) służy do analizy statycznych obciążeń układu mięśniowo-szkieletowego dla różnego typu czynności wykonywanych w trakcie pracy. Umożliwia m.in. (Center Ergonomics 2018):

- dwuwymiarową oraz trójwymiarową symulację procesu pracy,
- ocenę obciążenia statycznego oraz dynamicznego względem poziomych płaszczyzn odniesienia,
- ustawienie parametrów antropometrycznych oraz płci,
- porównanie uzyskanych danych z wytycznymi NIOSH (American National Institute for Occupational Safety and Health).

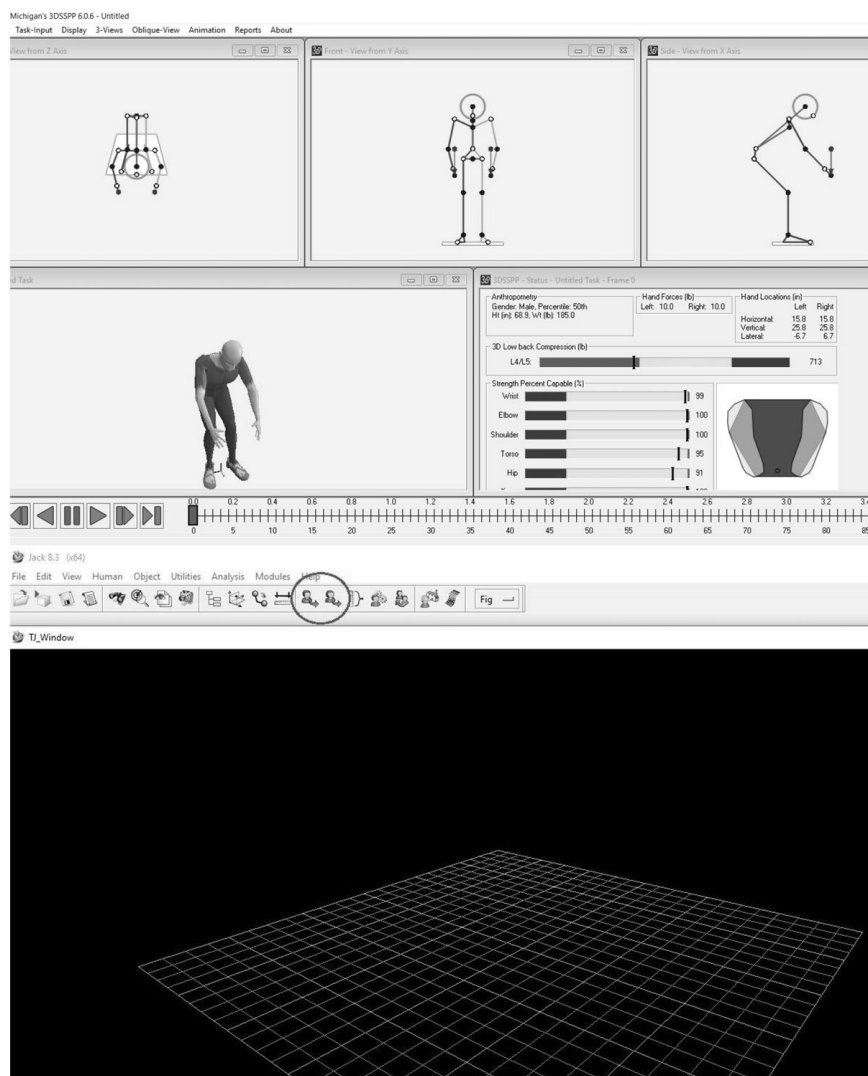
Program Jack (firmy Siemens) pozwala na trójwymiarowe modelowanie postaci ludzkich oraz przeprowadzanie symulacji. Umożliwia (Siemens, 2018):

- dokładne odwzorowanie postaci na podstawie jej cech antropometrycznych,
- pracę na ogólnych parametrach antropometrycznych (5, 50, 95 centyl),
- pozwala na przeprowadzenie symulacji zadań wykonywanych podczas pracy,
- umożliwia wygenerowanie raportu ergonomicznego zawierającego szczegółowe informacje o rozkładzie obciążeń mięśniowo-szkieletowych,
- obsługa czujnika Microsoft Kinect – możliwość korzystania z funkcji wirtualnej rzeczywistości oprogramowania.

2.2. Analiza porównawcza wybranych programów

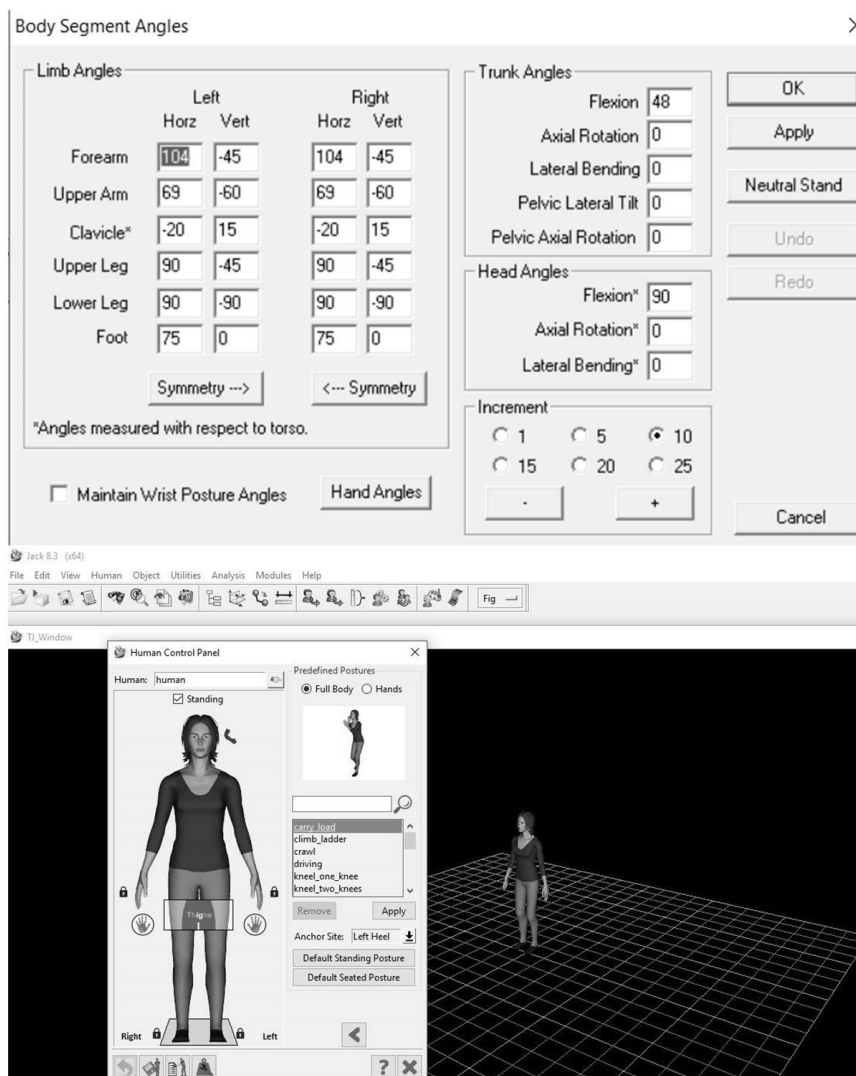
Do wykonania analizy porównawczej wykorzystano jedynie niektóre możliwości funkcjonalne programów ze względu na mnogość funkcji. Analiza ta ma na celu porównanie najważniejszych możliwości oprogramowania 3DSSPP oraz Jack.

Przy włączeniu programów od razu można zauważyć pierwszą różnicę. W 3DSSPP od razu pojawia się model ludzki, który można kształtować, natomiast w programie Jack użytkownik musi samodzielnie wstawić model ludzki z odpowiednimi parametrami (można także ustawić płeć, wiek, wymiary pracownika) (rys. 2).



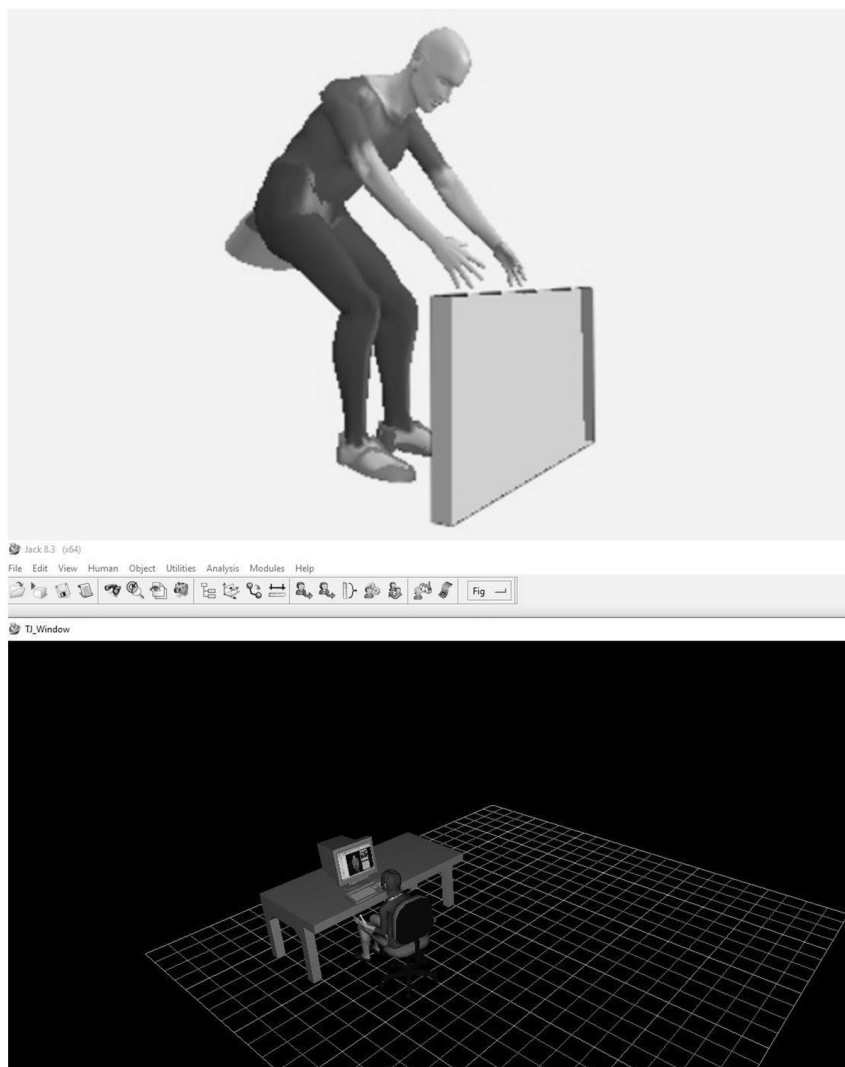
Rys. 2. Wstawianie modelu ludzkiego – góra 3DSSPP, dół Jack
(opracowanie własne w programach 3DSSPP i Jack – licencja Politechniki Poznańskiej)

W obu programach można ręcznie ustawić wartości kątów i położenia poszczególnych segmentów ciała oraz manualnie odwzorować pozycje człowieka podczas pracy na modelu. W programie Jack można dodatkowo wybrać gotowe pozycje ciała np. pozycja podczas jazdy samochodem, wspinanie się po drabinie, pozycja kłęcząca czy bieganie (rys. 3).



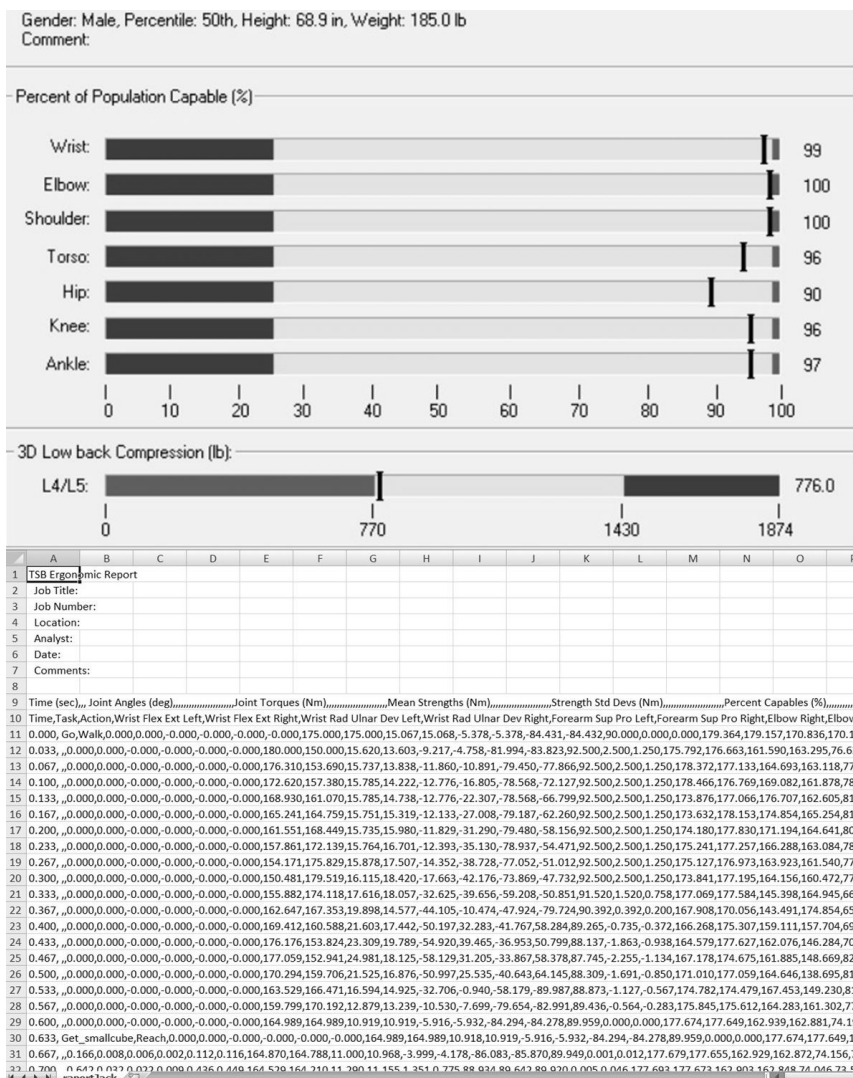
Rys. 3. Odzworowanie pozycji ciała modelu ludzkiego – góra 3DSSPP, dół Jack (opracowanie własne w programach 3DSSPP i Jack – licencja Politechniki Poznańskiej)

Kolejnym kryterium porównania jest możliwość zaprojektowania środowiska pracy. W programie 3DSSPP można wstawić jedynie dwa rodzaje barier (symbolicznie prezentujące otoczenie pracy), a w programie Jack można zamodelować środowisko pracy za pomocą rzeczywistych elementów takich jak taśma produkcyjna, elementy niezbędne do pracy biurowej, narzędzia pracy np. młotek (rys. 4).



Rys. 4. Kształtowanie środowiska pracy – góra 3DSSPP, dół Jack
(opracowanie własne w programach 3DSSPP i Jack – licencja Politechniki Poznańskiej)

W obu programach możliwe jest po zakończeniu projektowania wygenerowanie raportów ergonomicznych. Zawierają one główne podsumowanie oraz raporty cząstkowe: rozkład sił, rozmieszczenie poszczególnych segmentów ciała, wartość obciążenia, ogólna ocena pozycji podczas pracy (dopuszczalna – kolor zielony, wymagająca zmiany – kolor żółty, niedopuszczalna – kolor czerwony) (rys. 5).



Rys. 5. Generowanie raportów – góra 3DSSPP, dół Jack (opracowanie własne w programach 3DSSPP i Jack – licencja Politechniki Poznańskiej)

Porównując powyższe programy, na pierwszy rzut oka możemy zauważyć, że program Jack jest znacznie bardziej rozbudowany i pozwala nam na dokładną symulację całego procesu pracy, uwzględniając obciążenia statyczne oraz dynamiczne. Program 3DSSPP umożliwia projektowanie tylko w przypadku przewagi obciążeń statycznych i nie ma możliwości dokładnego odwzorowania wszystkich elementów używanych przez człowieka w procesie pracy. Dodatkowo w programie Jack mamy możliwość korzystania z wirtualnej rzeczywistości, która nie istnieje w pro-

gramie 3DSSPP. Jednak do przeprowadzenia analizy procesu pracy, w którym przeważają obciążenia statyczne prostszym w użytkowaniu będzie program 3DSSPP. Oby dwa programy nie uwzględniają jednak czynników materialnych środowiska pracy (np. mikroklimat, oświetlenie). Cechami wspólnymi obu programów są: odwzorowanie antropometryczne cech postaci ludzkich z realistycznym wyglądem oraz umożliwienie analizy pozycji skręconych, różnią się natomiast skalą działań. Program Jack pozwala na korzystanie z bazy danych populacji oraz obsługuje czujnik Microsoft Kinect (funkcja wirtualnej rzeczywistości), program 3DSSPP działa natomiast tylko na danych wprowadzonych przez użytkownika.

3. PODSUMOWANIE

Ergonomia jest dziedziną, która zaczyna powoli rozwijać się w Polsce. Przedsiębiorcy jednak nie mają jeszcze wystarczającej wiedzy, żeby wprowadzać zmiany mające na celu zmniejszenie obciążeń na stanowiskach pracy. Programy do projektowania ergonomicznych systemów antropotechnicznych są cennym narzędziem, które pozwala na przekonanie przedsiębiorców o korzyściach wynikających z zastosowania ergonomii w praktyce.

Z powyższej analizy wynika, że zastosowanie programów powinno być uzależnione od celu analizy, stopnia szczegółowości spodziewanych wyników oraz skomplikowania stanowisk pracy, na których występują obciążenia. Program Jack pozwala na wykonanie symulacji nie tylko obciążeń, ale także uwzględnia interakcje układu człowiek–obiekt techniczny. Program 3DSSPP sprawdza się w przypadku stanowisk pracy, na których występują mocno obciążające pozycje ciała.

Dzięki porównaniu tego typu programów projektowych można dopasować je do swoich aktualnych potrzeb i mieć pewność, że wprowadzone w praktyce zmiany w obrębie systemu człowiek – obiekt techniczny będą zmianami na lepsze.

LITERATURA

- Górska, E. (2002). *Ergonomia: projektowanie, diagnoza, eksperymenty*. Warszawa.
- Górska, E., Tytyk, E. (1998). *Ergonomia w projektowaniu stanowisk pracy. Podstawy teoretyczne*. Warszawa.
- Jasiak, A., Misztal, A. (2004). *Makroergonomia i projektowanie makroergonomiczne*. Poznań.
- Tytyk, E. (2001). *Projektowanie ergonomiczne*. Warszawa–Poznań.
- Winkler, T. (2005). *Komputerowo wspomagane projektowanie systemów antropotechnicznych*. Warszawa.

- Regiopraca.pl (2018). <http://www.regiopraca.pl/portal/porady/prawa-pracownika/ergonomia-w-miejscu-pracy-o-co-zadbac-zeby-pracowalo-sie-wygodniej> (05.06.2018).
- Center for Ergonomics *3DSSPP software* (2018). Pobrano z <https://c4e.engin.umich.edu/tools-services/3dspp-software/> (02.10.2018).
- Siemens, (2018). Pobrano z: https://www.plm.automation.siemens.com/pl_pl/products/tecnomatix/free-trial/free-jack.shtml (02.10.2018).
- Garnik, I. (2000). Metody ergonomicznego projektowania przestrzeni stanowisk pracy. Pobrano z: https://www.depot.ceon.pl/bitstream/handle/123456789/7348/Garnik-Metody_ergonomicznego_projektowania-postprint.pdf? (02.10.2018).

COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPUTER MODELS FOR THE EVALUATION OF BIOMECHANICAL LOADS

Summary

Nowadays one can observe a growing interest of entrepreneurs in working conditions. It is due to the awareness of an increase in the productivity of employees thanks to providing them with ergonomic work places and tools of the trade, which are adapted to their anthropometric features. Studies which are aimed at analysing workstations with regard to ergonomics are conducted more and more often. Also, new work places which help to reduce workload during the performance of work are being designed. Thus, there is a growing significance of programs that design ergonomic anthropometric systems, which allow specialists to show employers benefits of forming workstations in accordance with biomechanics of man. Such programs also facilitate design of workstations and tools of the trade. The programs vary with regard to acceptable criteria and the specificity of conducted analysis as well as the cost of application and the form of reporting line. The goal of this article is to present the most popular programs used to design ergonomic anthropometric systems and to show similarities and differences in their application.

Keywords: ergonomics, biomechanical workload, computer model

