

**ZASTOSOWANIE APLIKACJI 3D STATIC STRENGTH PREDICTION  
PROGRAM W EDUKACJI W ZAKRESIE ERGONOMII**

**APPLICATION OF 3D STATIC STRENGTH PREDICTION PROGRAM IN  
EDUCATION IN THE FIELD OF ERGONOMICS**

**Iwona Żabińska**

**Artur Kuboszek**

Politechnika Śląska

Wydział Organizacji i Zarządzania

Instytut Inżynierii Produkcji

e-mail: Iwona.Zabinska@polsl.pl

e-mail: Artur.Kuboszek@polsl.pl

**Jarosław Grzesiek**

Education & Testing Dr Agata Pradela

ul. Chełmońskiego 3

44-100 Gliwice

e-mail: jaroslaw.grzesiek@wp.pl

**Abstract:** In order to support and improve the quality of education, universities, especially technical ones, conduct exercises using computer software. Students of the Faculty of Organization and Management at the Silesian University of Technology learn many issues in the field of ergonomics, which are correlated with the capabilities of the 3DSSPP program. Therefore, the paper presents the possibilities of using 3D Static Strength Prediction Program (3DSSPP). The program is used to analyze the static load of the musculoskeletal system for various types of activities performed at the workplace. The effect of designing using the 3DSSPP software is biomechanical analysis, as well as the analysis of the stability of the body position. According to the developers of the 3DSSPP software, this program is used by ergonomists, loss-control specialists, engineers, physical and professional therapists, researchers and others who evaluate and design jobs.

**Keywords:** ergonomics, education quality, 3DSSPP.

**Wprowadzenie**

W programie studiów, na kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji (ZiIP) Politechniki Śląskiej, jednym z przedmiotów jest Ergonomia i higiena przemysłowa. Przedmiot składa się z wykładów, ćwiczeń i laboratoriów. Celem przedmiotu jest m.in. zaznajomienie studentów z ergonomicznymi aspektami funkcjonowania układu człowiek–maszyna, fizjologią pracy oraz zasadami bezpiecznej pracy w przedsiębiorstwie. W efekcie kształcenia, zgodnie z kartą przedmiotu, student powinien [2]:

- umieć definiować wszystkie podstawowe pojęcia z zakresu ergonomii i higieny przemysłowej,
- umieć posługiwać się zasadami bezpieczeństwa pracy,
- rozumieć potrzebę analizy czynników szkodliwych na stanowisku pracy w aspekcie zdrowia pracownika,
- znać podstawy funkcjonowania i budowy urządzeń technicznych wykorzystywanych w higienie przemysłowej dla ochrony zdrowia pracownika,

- znać ergonomiczne zasady kształtowania przestrzeni roboczej w relacji człowiek maszyna w procesie technologicznym,
- umieć obliczać koszt energetyczny pracy człowieka w odniesieniu do obciążenia pracą na różnych stanowiskach pracy,
- potrafić ocenić z pomocą Polskich Norm warunki bezpiecznej pracy dla wybranych czynników materialnego środowiska pracy,
- potrafić współdziałać i pracować w grupie, myśleć i działać w sposób kreatywny i przedsiębiorczy.

Oprócz wiedzy teoretycznej, studenci studiów inżynierskich powinni również posiadać umiejętność posługiwania się technikami komputerowego wspomaganie projektowania ergonomicznego. W ramach projektowania systemów studenci mogą nabyć umiejętności w zakresie:

- wyznaczania kryteriów technicznych i antropotechnicznych oceny systemów antropotechnicznych,

- modelowania cech konstrukcyjnych środków technicznych i cech antropometrycznych,
- wirtualnego prototypowania systemów antropotechnicznych.

Należy podkreślić, że zagadnienia z zakresu ergonomii i bezpieczeństwa pracy podejmowane są również na takich przedmiotach, jak projektowanie stanowisk pracy oraz logistyka.

Ze względu na konieczność szybkiej i niezakłóconej analizy sytuacji na stanowisku pracy zaczęto poszukiwać oprogramowania posługującego się uproszczonym modelem środowiska pracy i związków sił i momentów występujących w układzie mięśniowo szkieletowym dla określonej populacji ludzkiej [5]. Programem spełniającym te wymagania jest aplikacja 3DSSPP (3D Static Strength Prediction Program), ponieważ stwarza możliwość:

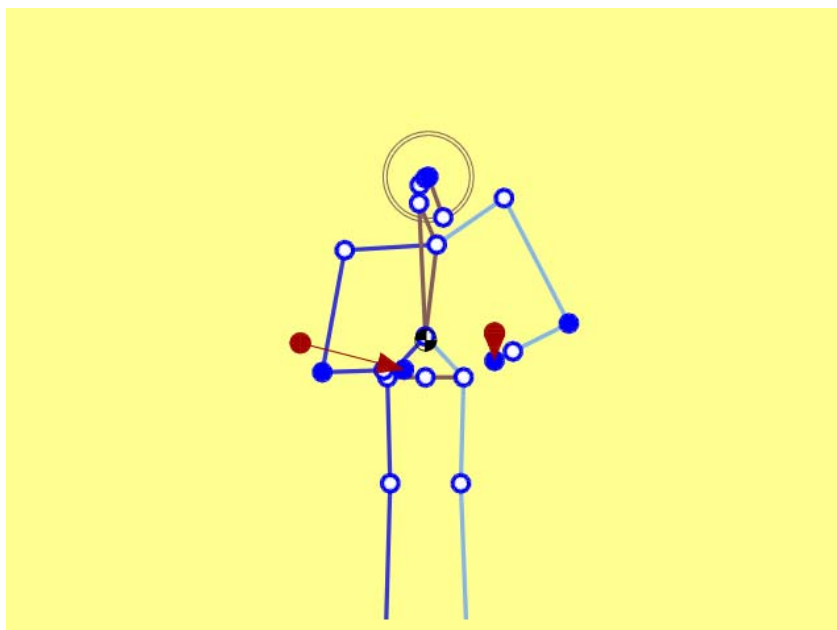
- szybkiego wprowadzenia zdjęć przedstawiających sytuację na stanowisku pracy do programu i zasymulowanie na ich podstawie postawy pracownika,
- prezentacji wyników obliczeń w dwóch poziomach: zbiorczy (graficzny i uproszczony), szczegółowe raporty dotyczące poszczególnych problemów ergonomicznych,
- aktualizowania bazy wymiarów antropometrycznych,
- wpisywania własnych informacji antropometrycznych,
- predefiniowania podstawowych postaw ciała zajmowanych przez człowieka przy pracy,

- zasymulowania dowolnego rodzaju obciążenia ciała człowieka podczas pracy,
- utworzenia i przedstawienia dynamicznej symulacji pracy na stanowisku pracy,
- analizy obciążeń układu mięśniowo szkieletowego przy dłuższym obciążeniu statycznym,
- zaawansowanej symulacji pracy dłoni i palców (szczególnie ważne przy analizie pracy biurowej i czynnościach montażowych).

Należy podkreślić, że dla wprawnego operatora wstępne zasymulowanie postawy przy pracy zajmuje kilka minut, co pozwala na szybkie przedstawienie wyników.

### Opis programu dla realizacji zadań projektowych

Dla potrzeb analizy z wykorzystaniem programu 3DSSPP [5] należy wykonać od jednego do czterech zdjęć tej samej postawy przy pracy. Wskazane jest, aby były to zdjęcia, kolejno: z góry, z przodu i z boku oraz poglądowe. Dla potrzeb edukacyjnych i szkoleniowych musi być utworzona baza przykładowych czynności produkcyjnych i usługowych oparta o zebrane w toku badań terenowych informacje lub na podstawie materiału wytworzonego przy udziale tzw. manekinów lub pozorantów. Posłużą one jako wzorce w odpowiednich oknach widoków krawędziowych (Rys. 1).



Rys. 1. Postawa przyjmowana nad stołem montażowym przy czynnościach szlifowania. Widok krawędziowy z przodu.

Każde ustawienie pozycji danego elementu układu mięśniowo-szkieletowego jest konfrontowane z widokiem poglądowym w oknie z fantomem. Okno tzw. fantoma pozwala na obserwację stopnia odwzorowania

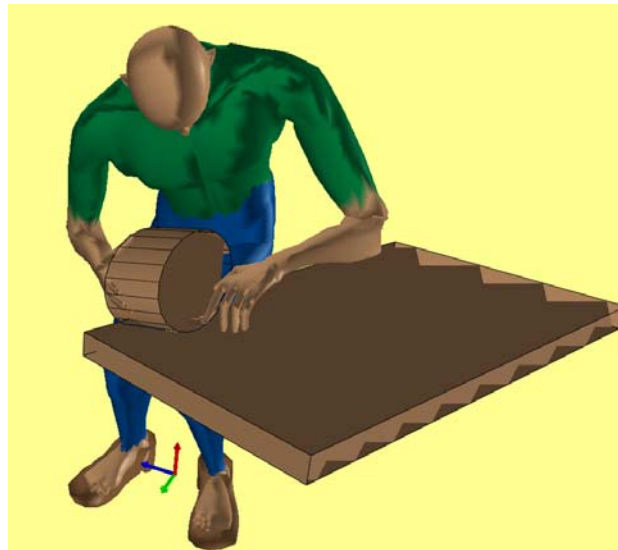
udokumentowanej zdjęciem pozycji zajmowanej przez pracownika przy określonej czynności w pracy (Rys. 2).



Rys. 2. Postawa przyjmowana nad stołem montażowym przy czynnościach szlifowania.

Na kończyny i części ciała nakładane są obciążenia o wektorach zgodnych z rzeczywistymi. Możliwe jest doprecyzowanie sytuacji w otoczeniu człowieka przez wprowadzenie do widoku z fantomem elementów

zastępujących przedmioty podnoszone lub tworzące przeszkodę dla pracownika (Rys. 3). Tak przedstawiona postawa przy pracy może zostać przedstawiona jako aminowa sylwetka fantoma bez zdjęcia wzorcowego.



Rys. 3. Postawa przyjmowana nad stołem montażowym przy czynnościach szlifowania. Widok z fantomem.

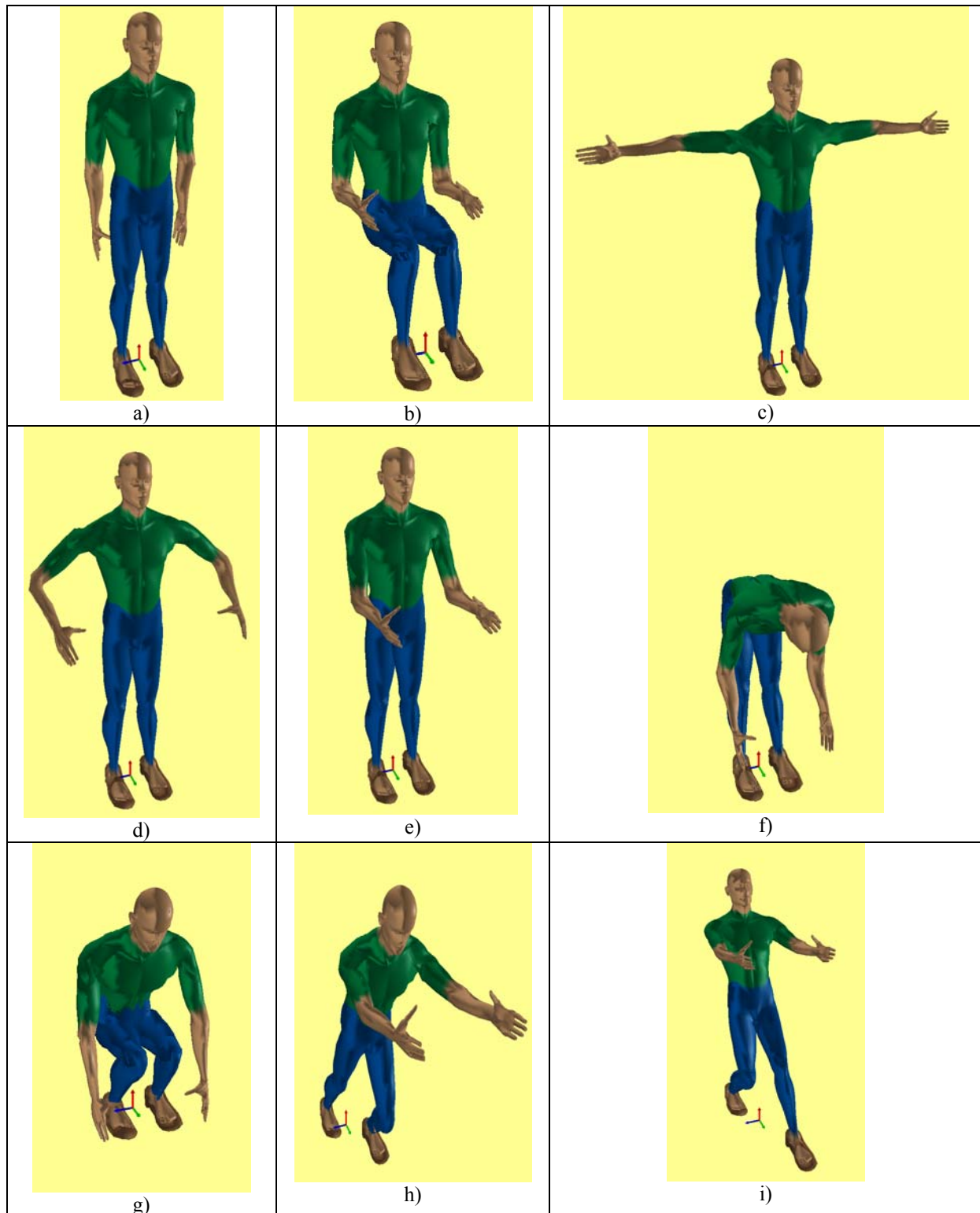
**Krok 1: Pobranie z bazy kompletu zdjęć danej postawy przy pracy**

W ramach zadania należy zapewnić trzy poziomy trudności poprzez ograniczenie ilości zdjęć. W najtrudniejszym przypadku powinno być jedno zdjęcie wykonane w widoku ukośnym, co odwzorowuje najczęściej spotkaną w rzeczywistości sytuację

wynikającą z trudnego dostępu do stanowiska pracy i braku czasu. Przykładowe zdjęcia postaw powinny być pogrupowane według schematu wynikającego z postaw predefiniowanych w programie (Rys. 4): stojąca (neutralna), siedząca (neutralna), pozycja T, początek manipulacji, stojąca podnosząca, pochylona podnosząca, kuczna podnosząca, pchanie, ciągnięcie. Dzięki temu, po

wybraniu zdjęć z określonej grupy, podczas wstępnej analizy będzie możliwość zaoszczędzenia czasu na ustawienie pozycji do dalszej dokładnej symulacji

postawy przy pracy. Każda z postaw ma już założone wektory działania siły obciążającej ręce.



Rys. 4. Postawy predefiniowane w programie 3DSSPP (widok fantoma): a) stojąca (neutralna), b) siedząca (neutralna), c) pozycja T, d) początek manipulacji, e) stojąca podnosząca, f) pochylona podnosząca, g) kuczna podnosząca, h) pchanie, i) ciągnięcie.

**Krok 2: Wgranie odpowiedniego zdjęcia do wybranego okna podglądu lub widoku w programie**

W zależności od poziomu trudności ćwiczenia trzeba będzie po kolei analizować trzy albo tylko jedno zdjęcie. Program nie pozwala na równoczesne wprowadzenie wszystkich zdjęć. Jest to więc czynność, którą przy najłatwiejszym (z punktu widzenia poprawności analizy) poziomie trudności, będzie trzeba przynajmniej trzykrotnie powtórzyć. Ze względu na wzajemne zależności pomiędzy poszczególnymi elementami ciała w łańcuchu węzłów ruchu, może się okazać, że przemieszczenie jakiejś części ciała w jednym widoku powoduje zmiany już ustawionej sylwetki w innym. Może to zmusić do powtórzeń czynności analizy.

**Krok 3: Wprowadzenie wstępnych ustawień programu**

W kolejnym kroku, prawidłowo wykonana analiza wymaga realizacji następujących zadań:

- ustalenia jednostek miar przedstawianych wyników (dostępne są jednostki anglosaskie lub metryczne),
- skorygowania danych dotyczących antropometrii (płeć oraz co najmniej wzrost i waga), ewentualnie wybranie percentyla populacji jaki będzie analizowany wraz z płcią (na podstawie zdjęcia),

- ustalenia wartości obciążenia dla rąk i ewentualnie innych części ciała.

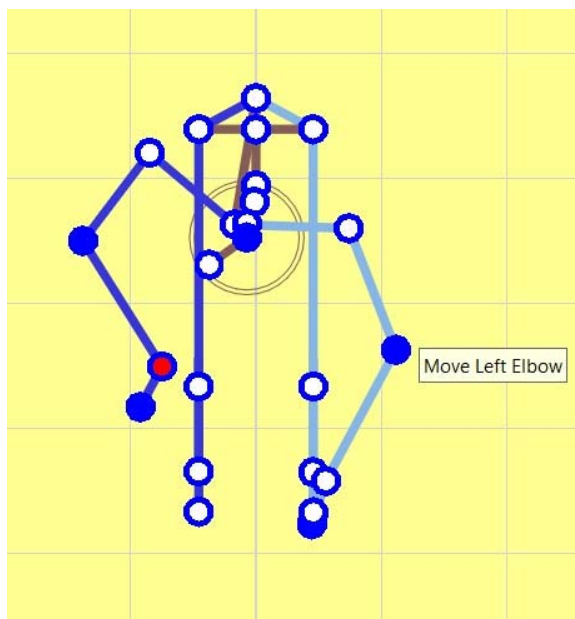
**Krok 4: Wybranie jednej z predefiniowanych pozycji ciała**

Na podstawie zdjęcia można wybrać jedną z predefiniowanych pozycji ciała. Jest to czynność skracająca poważnie czas całej analizy. Dzięki pogrupowaniu stanowisk i pozycji w bazie dokumentacji zdjęciowej, wybór określonej pozycji jest jednoznaczny.

**Krok 5: Wstępne zasymulowanie postawy w oknach widoku krawędziowego**

Za pomocą tzw. manipulacji bezpośredniej w widoku krawędziowym trzeba ustawić położenie poszczególnych elementów układu mięśniowo szkieletowego wraz z węzłami ruchu dostępnymi w danym widoku (Rys. 5). Manipulacja bezpośrednia polega na przesuwaniu punktów odpowiadających na modelu krawędziowym węzłom ruchu (niebieskie okręgi na modelu).

W każdym widoku należy przeprowadzić oddzielną manipulację kontrolując wynik w oknie z widokiem fantoma i ze zdjęciem. Ten etap wymaga wielokrotnego powtórzenia dla uzyskania zadowalającego wyniku.

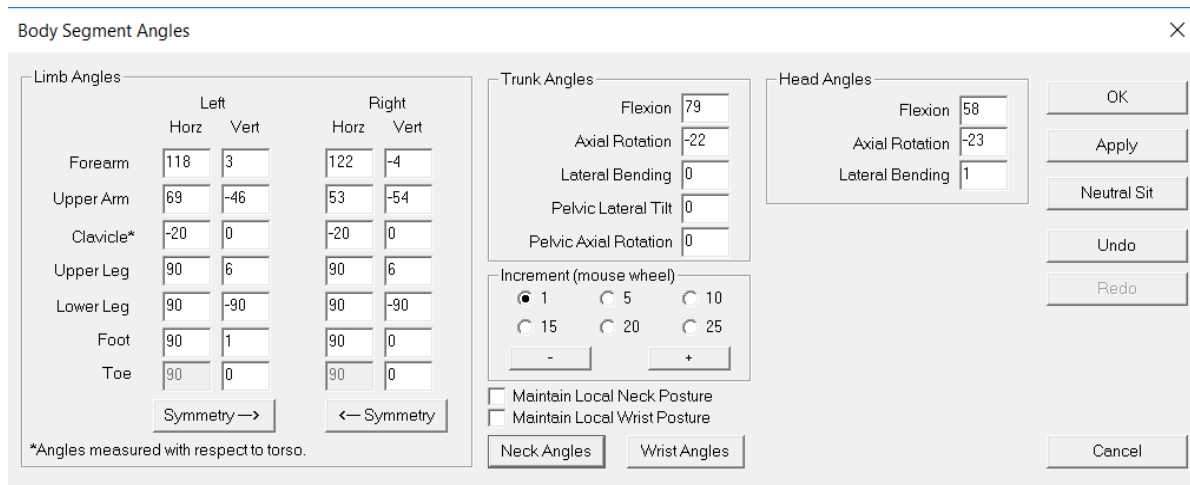


Rys.5. Postawa zajmowana przez człowieka na stanowisku pracy biurowej wstępnie ustalona za pomocą manipulacji bezpośredniej w widoku krawędziowym z góry.

**Krok 6: Doprecyzowania zasymulowanej postawy**

Wstępnie ustawiona za pomocą manipulacji bezpośredniej postawa przy pracy nie uwzględnia ustawienia stóp i dłoni. Nieprecyzyjne jest też wychylenie w bok tułowia czy pochylenie głowy. Dla dokładniejszej analizy niezbędne jest ustalenie dokładnej pozycji tych części ciała. W tym celu poprzez menu

Task-Input i przywołanie okna Body Segment Angles osoba analizująca pozycję przy pracy, wprowadza wartości dotyczące kątów podniesienia czy skręcenia danego elementu ciała, wielkość przesunięcia w poziomie czy w pionie (Rys. 6). Stan zasymulowanej pozycji może być obserwowany w oknie z widokiem fantoma i konfrontowany ze zdjęciem.

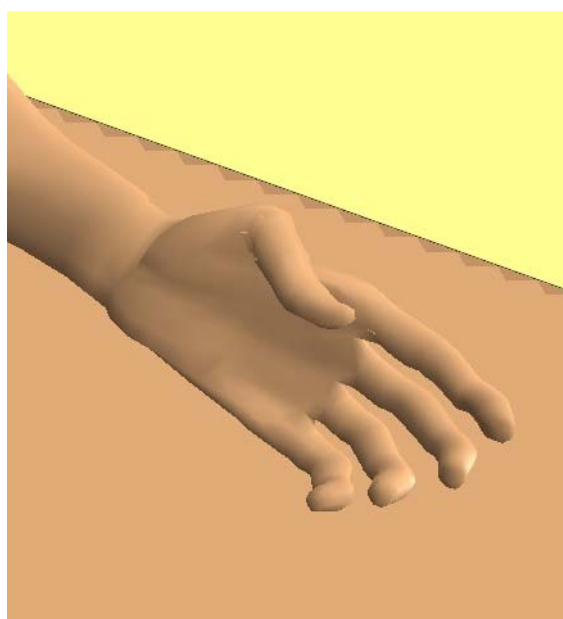


Rys. 6. Wprowadzanie informacji doprecyzowującej położenie poszczególnych elementów ciała.

### **Krok 7: Ustalenie położenia palców rąk**

W pracach związanych z manipulacją czy np. w pracach biurowych, szczególne znaczenie dla określenia poziomu obciążalności oraz uciążliwości poszczególnych

czynności ma analiza ułożenia palców rąk (Rys. 7). Ten etap pozwala na symulację czynności wykonywanych równoległe przez każdą z rąk oddzielnie.



Rys. 7. Zasympulowanie położenia palców ręki trzymającej przedmiot manipulacji.

### **Krok 8: Raportowanie**

Efektom końcowym wszystkich opisanych powyżej działań jest utworzenie przez program szeregu raportów na temat obciążeń i uciążliwości danej pozycji przy pracy. Zbiorczy raport zawierający podstawowe wyniki analizy (Rys. 8), pozwala na wyciągnięcie wniosków w następujących obszarach:

- poziomu obciążenia poszczególnych elementów układu mięśniowo-szkieletowego,
- wartości siły ściskającej w najbardziej zagrożonym odcinku kręgosłupa kręgów L4/L5,
- stabilności postawy,
- lokalnego poziomu uciążliwości dłuższego pozostawania w danej pozycji.



Rys. 8. Zbiorczy raport zawierający podstawowe wyniki analizy.

## Podsumowanie

Ergonomia ma charakter interdyscyplinarny oraz koncentruje się na adaptacji "miejsca pracy" do fizycznych i psychicznych możliwości człowieka [1]. Wiele zagadnień dotyczących ergonomii i bezpieczeństwa pracy podejmowanych jest przez studentów Wydziału Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej w ramach różnych przedmiotów, takich jak np. ergonomia, bezpieczeństwo pracy, projektowanie stanowisk pracy, logistyka. Program 3DSSPP jest bardzo pomocny dla wykładowcy w demonstrowaniu interdyscyplinarności tego tematu. Na podstawie zaprezentowanego powyżej opisu programu można stwierdzić, że aplikacja 3DSSPP ma wiele możliwości. Dzięki użyciu przedmiotowego programu student nabywa umiejętności w zakresie:

- wizualizacji pozycji przy pracy,
- szybkiej analizy zaprojektowanego miejsca pracy zgodnie z możliwościami człowieka,
- szczegółowej prezentacji obciążeń wpływających na każdy element ciała ludzkiego,

- szczegółowej wizualizacji sekwencji motorycznej człowieka podczas wykonywania jego pracy.

Student w oparciu o dokonaną analizę obciążeń układu kostno-stawowego i mięśniowego, może wskazać działania minimalizujące lub eliminujące oddziaływania czynników uciążliwych w środowisku pracy. Zaproponowane działania mogą mieć na celu usunięcie wadliwych rozwiązań (ergonomia korekcyjna) lub mogą być wprowadzone na etapie procesu projektowania (ergonomia koncepcyjna). Doświadczenie autorów pracy wskazuje jednak, że zwykle działalność korekcyjna i koncepcyjna przeplatają się ze sobą [3, 4].

Projekt realizowany za pomocą aplikacji 3DSSPP ma charakter inżynierski i przygotowuje studenta do realizacji pracy dyplomowej oraz pracy zawodowej w obszarze ergonomii i bezpieczeństwa pracy.

Podsumowując można stwierdzić, że wykorzystanie aplikacji 3DSSPP, w ramach zajęć prowadzonych na Wydziale Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej, może znacząco poprawić jakość kształcenia i efektywnie przygotować studenta do pracy w zakresie ergonomii i bezpieczeństwa pracy.

## Bibliografia

1. Górka, E., Ergonomia, projektowanie, diagnoza, eksperymenty, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2015.
2. Karta przedmiotu Ergonomia i higiena przemysłowa. <https://www.polsl.pl/Wydzialy/ROZ/roz3/Sylabusy/2017-2018/ZiIP/1%20Stopie%C5%84/Stacjonarne/Ergonomia%20i%20higiena%20przemys%C5%82owa-ZiIP-S1Is7.pdf> (dostęp 8.04.2018).

3. Źabińska, I., Kuboszek, A., Sujova, E., Zitnansky, J., Ergonomic diagnosis of a computer workstation, XV International Conference Multidisciplinary Aspects of Production Engineering, Multidisciplinary Aspects of Production Engineering, Conference proceedings, Vol. 1, iss. 1, pp. 739-744, PANOVA, 2018.
4. Źabińska, I., Kuboszek, A., Ergonomic diagnosis of concrete mixer workplace. Case study, XV International Conference Multidisciplinary Aspects of Production Engineering, Multidisciplinary Aspects of Production Engineering. Conference proceedings, Vol. 1, iss. 1, pp. 751-758, PANOVA, 2018.
5. 3D Static Strength Prediction Program TM, Version 7.0.2, User Manual, Michigan, 2018.