

## Assessment of a furniture industry worker's posture using the CEIT system

Mateusz Gacek <sup>1</sup>, Robert Drobiną <sup>2</sup>, Damian Kolny <sup>3,\*</sup>, Sabina Stypuła <sup>4,\*</sup>, Marcin Raczek <sup>5,\*</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Bielsko-Bialski 43-300 Bielsko –Biała ul. Willowa 2, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: gacek.mateusz02@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. UBB, dr hab. inż., Uniwersytet Bielsko-Bialski 43-300 Bielsko-Biała ul. Willowa 2, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, e-mail: rdrobina@ubb.edu.pl

<sup>3</sup> mgr inż., Uniwersytet Bielsko-Bialski 43-300 Bielsko-Biała ul. Willowa 2, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, e-mail: dkolny@ubb.edu.pl

<sup>4</sup> Uniwersytet Bielsko-Bialski 43-300 Bielsko –Biała ul. Willowa 2, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: S58010@student.ubb.edu.pl

<sup>5</sup> ATEPAA Group, 43-300 Bielsko-Biała ul. Wędrowców 112, email: marcin@atepaa.com

\* Mateusz Gacek, gacek.mateusz02@gmail.com

**Abstract:** The study compares and analyzes the RULA method and the CEIT system for worker load evaluation. It presents fundamental ergonomic concepts necessary to understand the analysis. The importance of ergonomics as a discipline in the workplace is discussed, along with Eurostat statistics on various ergonomic hazards. Topics related to work physiology and methods for assessing worker load are also covered, starting with dynamic workload assessments and concluding with static load evaluation. The study includes an overview of anthropometric characteristics relevant to the assessments, as well as a detailed examination of the two evaluation methods under discussion: RULA and the CEIT system. In the project section, the posture of a furniture industry worker is evaluated using the RULA method. Following that, the core principles and functionality of the CEIT system are presented. The CEIT system was then used to assess the same workstation analyzed by the RULA method. This work was developed in collaboration with ATEPAA Group and was conducted as part of the VIP UBB student scientific circle, under the supervision of mgr inż. Damian Kolny.

**Keywords:** Workstation ergonomics ; RULA assessment ; Augmented Reality ; Posture assessment

## Ocena postury pracownika branży meblarskiej za pomocą systemu CEIT

Mateusz Gacek <sup>1</sup>, Robert Drobiną <sup>2</sup>, Damian Kolny <sup>3,\*</sup>, Sabina Stypuła <sup>4,\*</sup>, Marcin Raczek <sup>5,\*</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Bielsko-Bialski 43-300 Bielsko –Biała ul. Willowa 2, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: gacek.mateusz02@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. UBB, dr hab. inż., Uniwersytet Bielsko-Bialski 43-300 Bielsko-Biała ul. Willowa 2, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, e-mail: rdrobina@ubb.edu.pl

<sup>3</sup> mgr inż., Uniwersytet Bielsko-Bialski 43-300 Bielsko-Biała ul. Willowa 2, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, e-mail: dkolny@ubb.edu.pl

<sup>4</sup> Uniwersytet Bielsko-Bialski 43-300 Bielsko –Biała ul. Willowa 2, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: S58010@student.ubb.edu.pl

<sup>5</sup> ATEPAA Group, 43-300 Bielsko-Biała ul. Wędrowców 112, email: marcin@atepaa.com

\* Mateusz Gacek, gacek.mateusz02@gmail.com

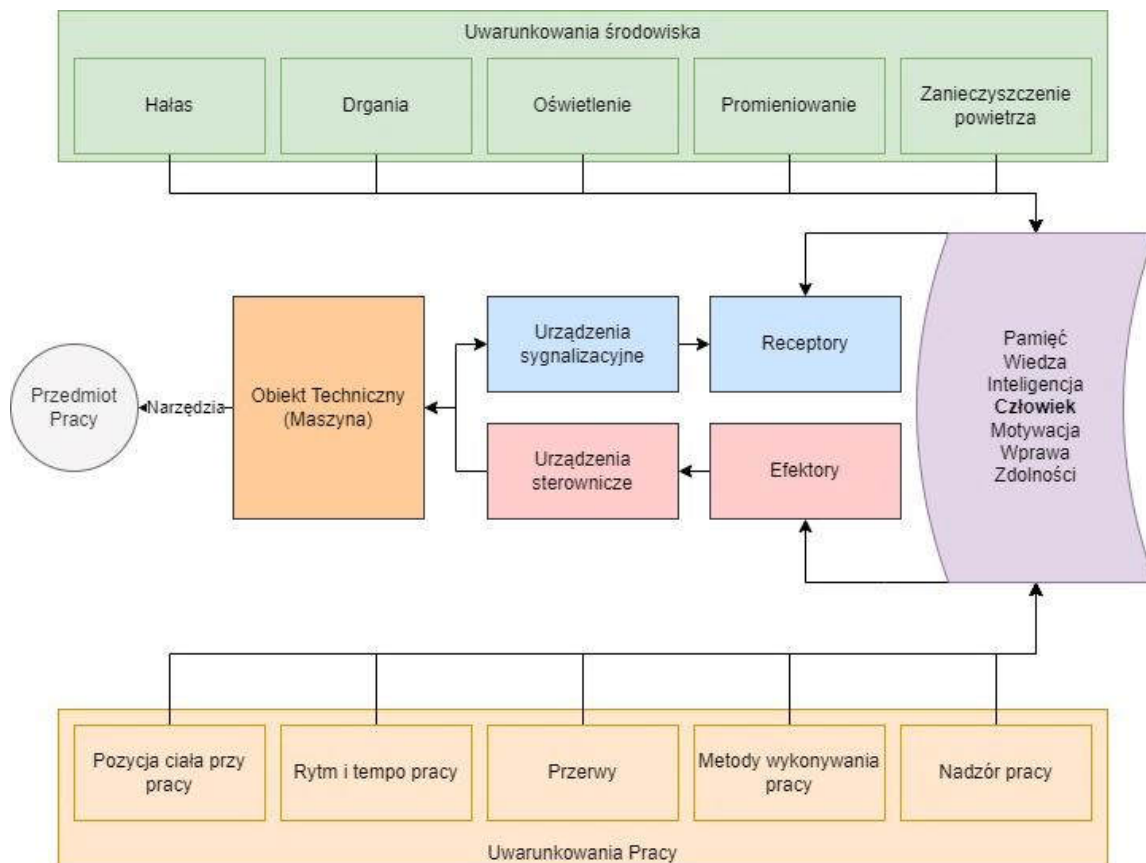
**Streszczenie:** W pracy zestawiono ze sobą i dokonano analizy metody oceny RULA oraz system CEIT. Przedstawiono podstawowe zagadnienia ergonomiczne potrzebne do zrozumienia zestawienia i analizy. Omówiono znaczenie ergonomii jako nauki w środowisku pracy i przedstawiono statystyki Eurostatu dotyczące różnych zagrożeń o naturze ergonomicznej. Przedstawiono także

zagadnienia związane z fizjologią pracy oraz metody oceny obciążenia pracownika, zaczynając na metodzie oceny obciążenia pracą dynamiczną i kończąc na obciążeniu statycznym. Przedstawiono cechy antropometryczne człowieka, ważne dla przeprowadzanych ocen oraz przedstawiono oceny, będące obiektem tego artykułu: Metodę RULA oraz system CEIT. W części projektowej przeprowadzono ocenę postury pracownika branży meblarskiej za pomocą metody RULA. Następnie, zaprezentowano podstawowe założenia i zasady działania systemu CEIT. System ten został wykorzystany do oceny tego samego stanowiska, które było analizowane metodą RULA. Praca powstała we współpracy z ATEPAA Group. Praca również jest realizowana w ramach kola naukowego VIP UBB – opiekun kola mgr inż. Damian Kolny.

**Słowa kluczowe:** Ergonomia stanowiska ; Ocena RULA ; Rozszerzona rzeczywistość ; Ocena Postury

## 1. Wstęp

Rozwój technologiczny niewątpliwie zwiększa komfort naszego życia, dostarczając innowacji różnym sferom, w których funkcjonujemy. Faktem jest, że technika jest stałym komponentem życia współczesnego człowieka a na skutek jej rozwoju inżynierowie prześcigają się w tworzeniu nowych środków technicznych, w projektowaniu urządzeń, szukaniu lepszych rozwiązań z jednoczesnym ciągłym ich udoskonalaniem. W walce o pozycję na rynku branży przemysłowej zaczęto stosować rozwiązania ergonomiczne oszczędzające czas wykonywania czynności oraz zwiększające komfort pracownika przekładający się na jego wydajność. Ergonomia jako nauka łącząca wiedzę płynącą z wielu dziedzin, została stworzona dla polepszenia wygody człowieka i jego lepszego współdziałania z obiektami technicznymi. Często nieświadomieni pracownicy przemysłowi mają wątpliwości co do wprowadzania takich rozwiązań bojąc się, że nowoczesne technologie i maszyny docelowo zastąpią człowieka na jego miejscu pracy. Współczesne obiekty techniczne i ich poziom skomplikowania wymagają projektowania w oparciu o zasady naukowe. Projektant często posługuje się właściwościami technicznymi, jednak nie można pominąć przy projektowaniu istotnej roli człowieka, który będzie użytkownikiem danego obiektu technicznego. Z tego powodu wszelkie nowe rozwiązania techniczne i organizacyjne traktują człowieka, jako podmiot w systemie: człowiek – obiekt techniczny [1].



Rysunek 1. Schemat systemu: człowiek - obiekt techniczny [2]

Tworzenie systemu, który bierze pod uwagę te dwa elementy: człowiek i maszyna, wymaga wszechstronnej wiedzy o każdym z nich i o współzależnościach w ich działaniu. Schemat takiego systemu przedstawiono na rysunku 1. W takim podejściu użytkownik obiektu technicznego zazwyczaj pojawia się w kolejnych fazach projektowania jako aspekt, który z jednej strony ogranicza wolność konstruowania, ale z drugiej nadaje konieczność uwzględniania wymogów bezpieczeństwa i higieny pracy. Efektywne wykorzystanie możliwości obiektów technicznych zależy od wzięcia pod uwagę przez inżyniera zachodzących związków pomiędzy ludzkimi i technicznymi elementami pracy oraz wpływu warunków zewnętrznych na całość działania systemu. Dlatego dość ważne jest uwzględnienie ergonomicznych kryteria w projektowaniu, których priorytetowym zadaniem jest dostosowanie obiektów technicznych do możliwości czy też pewnych ograniczeń człowieka [3]. Inżynier, który zajmuje się organizacją pracy ma do czynienia z wieloma ergonomicznymi zagadnieniami. Stanowiska pracy, które nadzoruje są przecież elementarnymi systemami typu: człowiek-maszyna, człowiek-narzędzie, zespół ludzi-środki techniczne itp. Problemy ergonomiczne dotyczą np.: kontaktu człowieka z maszyną lub materiałem obrabianym, wpływu na człowieka środowiska pracy oraz wpływu rozwiązań organizatorskich typu: tempa pracy, stresu, wysiłku czy współpracy z innymi pracownikami [4]. Najbardziej wartościowym elementem systemu pracy jest pracownik, który posiada właściwe kwalifikacje, doświadczenie zawodowe, inteligencję i motywację do pracy. „Nowoczesne podejście do procesu organizacji pracy polega na poszukiwaniu nowych, skutecznych środków zaradczych, które umożliwiłyby pełniejsze przystosowanie pracy do człowieka oraz racjonalny dobór ludzi do pracy po uwzględnieniu np.: kwalifikacji, umiejętności, predyspozycji psychofizycznych, stanu zdrowia, wieku” [4]. Inżynier, który zajmuje się organizacją pracy nie zawsze jest specjalistą z dziedziny ergonomii, ale powinien umieć dostrzec i określić problem a także jeżeli jest to konieczne zaangażować do współpracy specjalistów z zakresu danego zagadnienia.

## 2. Ergonomia – znaczenie w pracy

Do ergonomii jako nauki, wraz z rozwojem technologicznym i społecznym zaczęto przywiązywać coraz to większą wagę. Przedsiębiorcy zaczęli dostrzegać korzyści płynące z wdrażania ergonomicznych rozwiązań i co za tym idzie systematycznej eliminacji uciążliwych czynników pracy. Czynniki te prześladują każdą branżę przemysłową, usługową, administracyjną czy komunikacyjną. Dominują wśród nich: wymuszona pozycja ciała, monotonność pracy, ręczny transport ciężkich ładunków, stres psychofizyczny, mikroklimat, irytujący hałas, warunki sanitarne czy oświetlenie nieodpowiednie w stosunku do wykonywanej pracy. Narażenie pracowników na tego typu warunki, szczególnie w długotrwałym okresie mogą w dużym stopniu przyczyniać się do urazów i kontuzji układu mięśniowo-szkieletowego, podwyższonego poziomu stresu, a co za tym idzie – zmęczeniem pracownika i wypaleniem zawodowym. Dodatkowo, stres jak i kontuzje mogą zwiększyć ryzyko powstawania wypadków w pracy jak i przyczynienia się do rozwoju chorób cywilizacyjnych układu krążenia, ruchu i kręgosłupa. [5] Niestety, taki stan rzeczy możemy zobaczyć w danych statystycznych określonych w raporcie Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy z roku 2023 [6]. Raport wykazuje, że aż 65% populacji UE jest narażonych na wykonywanie powtarzalnych czynności, 52% narażone jest na podnoszenie ciężkich ładunków, 36% ma kontakt z substancjami chemicznymi lub biologicznymi, oraz 30% doświadcza dużego natężenia dźwięków. Raport także podkreśla znaczenie i wpływ tych czynników na zdrowie psychofizyczne pracowników. Według danych z raportu aż 45% pracowników doświadcza stresu związanego z ograniczeniami czasowymi, 22% pracuje dłużej niż 8 godzin lub ich czas pracy jest nieregularny, 18% narzeka na słaby stan komunikacji i kooperacji w przedsiębiorstwie, aż 60% skarży się na kontakt z trudnymi klientami, pacjentami czy uczniami. [6] Raport zwraca także uwagę na powiązanie i wzrastające znaczenie intensywności pracy i jej ilościowego wzrostu. Bardzo duże różnice są widoczne w zależności od rozpatrywanego pola zawodowego, formy pracy, rozmiaru przedsiębiorstwa – przykładowo – w większych przedsiębiorstwach jest znacznie więcej presji czasu niż w mniejszych przedsiębiorstwach. Długość dziennego lub tygodniowego czasu pracy i jego przypisanie w dwudziestoczworgodzinny dzień pracy lub nocy jest znaczącym czynnikiem wpływającym na zdrowie i samopoczucie. Eurostat pokazuje minimalny spadek w średnich czasach pracy w tygodniu u osób zatrudnionych na etat w wieku od 15 do 64 lat. Spadek ten wynosi 0.3 godziny – z 40.2 do 39.9 godzin między 2006 a 2019 rokiem. Dane te także uwzględniają zmiany związane z pracą w nietypowych godzinach. Pomiędzy latami 2006 a 2019 liczba osób pracujących w soboty zmalała o 3% (z 28.1% do 25%) [7]. Procent osób pracujących wieczorami spadł z 19% do 15%, liczba pracujących w niedziele nie zmieniła się, natomiast procent pracujących w nocy spadł z 7% do 5%. Odsetek osób pracujących w trybie zmianowym wzrósł o 1% z 17% do 18% [6]. Wypadki w pracy są jednym z najczęstszych wskaźników świadczących o jakości prewencji w przedsiębiorstwie. Między rokiem 1998 a 2019 w Unii Europejskiej

poziom wypadków niezagrażających życiu spadł o 58, praktycznie tyle samo ile poziom wypadków śmiertelnych, który wynosił 57%. Taki spadek przypisuje się znacznemu rozwojowi środków zapobiegania i ergonomii oraz migracji dużej liczby pracowników do sektorów zatrudnienia z mniejszą ilością substancji szkodliwych itd. [6] Na rynku europejskim funkcjonuje wiele organizacji wspierających rozwój i standaryzację rozwiązań zapobiegania wypadków i ergonomii. Europejski Komitet Normalizacyjny zajmował się wyznaczaniem standardów bezpieczeństwa i rozwijał systemy zarządzania. Nauki inżynierskie pracowały nad lepszymi technicznymi środkami prewencji, pomiarów i technologii monitorowania. Postępy w naukach medycznych pozwoliły na lepsze diagnozowanie pracowników i efektywniejszym leczeniu urazów powstałych w wyniku wypadków w pracy. W kontekście pracy pojęcie bezpieczeństwa można definiować jako stan nie zagrażający życiu i zdrowiu pracowników w trakcie wykonywania pracy, a działalność w jego zakresie ma na celu poprawę warunków pracy, minimalizację jej szkodliwości oraz zapobieganie powstawaniu wypadków przy pracy. Kierunki ergonomii biorące udział w zapobieganiu wypadkom obejmują [8]:

- eliminację zagrożeń na etapie projektu i konstrukcji urządzeń technicznych,
- usunięcie zagrożeń w istniejących już obiektach,
- dobór pracowników pod względem predyspozycji psychofizycznych w kontekście zagrożeń występujących na stanowisku,
- kształtowanie postawy pracowników poprzez szkolenia załogi wobec niebezpieczeństwa wypadku w czasie pracy.

### 3. Fizjologia w ergonomicznych metodach oceny

Fizjologia pracy zajmuje się analizą obciążenia fizycznego. Badania te mają na celu sporządzenie praktycznych rozwiązań, które dotyczą sposobu wykonywania pracy a także warunków materialnych i środowiskowych w jakich powinna mieć miejsce. Obciążenie fizyczne określane jest przez badanie biologicznych zjawisk jakie zachodzą w organizmie ludzkim podczas wykonywania pracy. Badania te mają ukazać w jaki sposób zapewnić racjonalne wykorzystanie sił fizycznych i psychicznych przy jednoczesnej ochronie przed zjawiskami takimi jak zmęczenie i nużenie a także mają na celu opracowanie metod zmniejszania wydatku energetycznego organizmu pracownika.

W zależności od wykonywanych czynności przez pracownika pracę można podzielić na:

- pracę umysłową, bezpośrednio związaną z wykorzystaniem układu nerwowego, gdzie największy udział bierze praca kory mózgowej co w efekcie wymaga od człowieka większego skupienia i uwagi,
- pracę fizyczną, którą wykonuje się głównie za pomocą siły mięśni oraz układu szkieletowego.

Biorąc pod uwagę procesy, które zachodzą w efektorach i charakter pracy mięśni obciążenie pracą fizyczną dzieli się na [9]:

- dynamiczne, kiedy mięśnie wykonują ruch – kurczenie i rozciąganie,
- statyczne, gdy występuje jedynie napięcie mięśni bez ich ruchu.

Fizjologia pracy korzysta z metod badawczych polegających na pomiarach zmian parametrów organizmu ludzkiego w trakcie trwania pracy. Do przeprowadzania analiz tych parametrów stosuje się następujące metody [10]:

- metoda kalorymetrii,
- metoda pomiarów fizjologicznych,
- metoda chronometrażowo-tabelaryczna.

### Metody oceny obciążenia pracą dynamiczną

Pełna i rzetelna ocena obciążenia organizmu człowieka podczas pracy łączy w sobie następujące elementy [11]:

- wielkość wydatku energetycznego,
- udział wysiłków o charakterze statycznym,
- stopień monotypowości ruchów.

Wielkość wydatku energii organizmu potrzebna do wykonania określonej pracy zawiera w sobie wydatek energetyczny spoczynkowej przemiany materii oraz wydatek energetyczny pracy efektywnej (energii zużytej na wykonanie określonej czynności). Analiza wydatku energetycznego poszczególnych czynności, wykonywanych w pracy zawodowej daje możliwość stworzenia charakterystyki stanowisk pracy. Taka ocena może być bardzo pomocna w doborze na określone stanowiska właściwych pracowników. Metody badawcze w głównej mierze skupiają się na pomiarach dynamiki korelacji wielu wskaźników ustroju ludzkiego podczas wykonywanej pracy. W skład badanych parametrów wchodzi: określenie wielkości kosztu energetycznego (kcal), monitorowanie układu krążenia



(pomiar tętna, ciśnienia krwi, objętość wyrzutowa serca), układu oddechowego (pomiar wentylacji płuc, częstości oddechów, zużycie tlenu), badanie zmęczenia mięśni oraz układu ośrodkowo-nerwowego mózgu, wraz z zachodzącymi w nich zmianami [9].

Wielkość wydatku energetycznego można wyliczyć, w zależności od charakteru środowiska pracy, za pomocą trzech metod [12]:

- metody chronometryczno-tabelarycznej,
- metody gazometrycznej,
- metody telemetrycznej.

### Metoda chronometryczno-tabelaryczna

W metodzie tej tabele stworzone przez fizjologów pracy m.in. Lehmana lub Spitzera-Hettingera są podstawą do obliczania wydatku energetycznego. Tabele te przedstawiają wielkość tego wydatku w  $\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$ , przy określonych czynnościach i różnych stanowiskach pracy [13]. Dlatego w metodzie tej istotne jest przeprowadzenie rzetelnego chronometrażu czynności, jakie wykonuje pracownik poddany temu badaniu. Jak pisze E. Górską: „Chronometraż powinien być przeprowadzony w dniach o przeciętnym rytmie pracy i obejmować czynności powtarzające się każdego dnia. W dokumentacji wszystkie rodzaje czynności roboczych i czynności pomocniczych powinny być podzielone na grupy o podobnym obciążeniu pracą. Pomiar czasu trwania poszczególnych czynności powinien być przeprowadzany kilkakrotnie, dla różnych osób i przy różnej intensywności pracy, aby można było uzyskać uśrednioną fotografię dnia roboczego na określonym stanowisku pracy. Najlepiej, gdy chronometraż opracowany jest wspólnie z pracownikiem, jego przełożonym i pracownikiem bhp” [14].

Czynności konieczne do przeprowadzenia badań tą metodą:

- sporządzenie wykazu czynności elementarnych wykonywanych podczas jednej zmiany roboczej,
- pogrupowanie ich zgodnie z jednostkami elementarnymi umieszczonymi w tabelach, które uwzględniają wartości jednostkowe kosztu energetycznego,
- przeprowadzenie chronometrażu czynności,
- obliczenie sumy wartości wydatku energetycznego,

Zastosowanie tej techniki jest łatwe, dlatego może być wykorzystana w prawie każdych warunkach pracy. Ponadto dokonując analizy tą metodą nie wykorzystuje się żadnej aparatury dzięki czemu nie ma ona wpływu na badanego pracownika i wykonywanych przez niego czynności. Do stwierdzenia czy na stanowisku roboczym zachowana jest właściwa organizacja czynności pomocne jest również porównanie otrzymanego wyniku z wydatkiem energetycznym określonym dla danego zawodu.

### Metoda gazometryczna

Za pomocą tej metody wydatek energetyczny oblicza się na podstawie pomiarów wskaźników wymiany gazowej i wyrażany jest w ilości zużytego tlenu. Odzworowuje on stopień natężenia przemian fizjologicznych a także służy za wskaźnik wydajności fizycznej organizmu. Dlatego ilość tlenu jaką organizm jest w stanie przyjąć zależy od stanu fizycznego człowieka, jego wytrenowania oraz od przystosowania do pracy. Pomiędzy wielkością minutowej wentylacji płuc a ilością zużytego tlenu podczas wysiłku istnieje wysoki współczynnik korelacji i prawie liniowa zależność, na podstawie której można wyliczyć przybliżoną wartość kosztu energetycznego, wykorzystując równanie Datta-Ramanathana (1) [12]:

$$E = 0,21 \times V_{E(STPD)}, \quad (1)$$

gdzie: E – wydatek energetyczny w  $\text{kJ}/\text{min}$ .

$V_{E(STPD)}$  – wentylacja płuc, w  $\text{l}/\text{min}$  w warunkach STPD (objętość gazu suchego w temperaturze  $0^\circ\text{C}$  i ciśnieniu atmosferycznym  $101,3 \text{ kPa}$ ).

Praca mięśniowa w zależności od zużytego tlenu dzieli się na trzy rodzaje [11]:

- lekką, gdy zużycie wynosi  $0,5$  do  $1,02 \text{ l}/\text{min}$ ,
- umiarkowanie ciężką, gdy wynosi  $1$  do  $2 \text{ l}/\text{min}$ ,
- ciężką, gdy jest powyżej  $2 \text{ l}/\text{min}$ .

Najkorzystniejsze warunki dla organizmu i mięśni stwarza umiarkowany rodzaj pracy, gdyż zapotrzebowanie w tlen jest na tyle wystarczające, aby praca mięśni odbywała się przy pomocy procesów tlenowych. Dzięki temu organizm

może osiągnąć równowagę między powstawaniem i wydalaniem produktów w przemianie materii co umożliwia długotrwałe wykonywanie czynności. W przypadku pracy ciężkiej organizm zużywa dużych ilości tlenu. Jeśli zaopatrzenie to nie jest wystarczające to organizm pozyskuje energię z procesów beztlenowych. Zmniejszenie wydolności organizmu człowieka i spadek jego zdolności do pracy jest skutkiem przewagi zużycia produktów energetycznych przez szybkość beztlenowych procesów nad ich tlenową odbudową.

### Metoda telemetryczna

W analizie tej wykonuje się pomiar częstości skurczów serca. Zwiększenie liczby uderzeń serca oraz czas jaki potrzebuje ono na uzyskanie maksymalnego rytmu jest zależne od obciążenia pracą. Całkowity wydatek serca uwzględnia zarówno wydatek na pracę jak i wydatek potrzebny na odnowę. Analiza obciążenia organizmu na podstawie pracy układu krążenia może być dokonywana za pomocą dwóch wskaźników [15]:

- częstości tętna,
- czasu powrotu tętna do poziomu spoczynkowego.

W metodzie tej ocena wydatku energetycznego wyrażona poprzez częstotliwość skurczów serca może być przedstawiona za pomocą wzoru (2) [13]:

$$M_{es} = A \times t(4 \times HR - 255), \quad (2)$$

gdzie:  $M_{es}$  – wydatek energetyczny w J.  
 HR – częstość skurczów serca podczas pracy, skurcz·min<sup>-1</sup>.  
 A – powierzchnia ciała, m<sup>2</sup>.  
 t – czas pracy podlegający ocenie, s.

Ta metoda badania wydatku energetycznego może być stosowana do oceny prac lekkich oraz umiarkowanie ciężkich ponieważ zmiany badanych wskaźników są powolne i można je śledzić. Na częstotliwość uderzeń serca mają także wpływ czynniki wewnętrzne i zewnętrzne takie jak wysiłek dynamiczny, stres cieplny, obciążenie psychiczne, wysiłek statyczny, hałas a także stan zdrowia człowieka.

### Obciążenie statyczne

Obciążenie statyczne występuje, gdy na zewnątrz nie obserwuje się ruchu kończyny czy tułowia, ale mięśnie są napięte (skurcze izometryczne) i wytwarzana siła może przeciwdziałać sile równej sile ciężkości. Nie zachodzi zatem praca w sensie mechanicznym. Jednak zwiększenie napięcia mięśnia to czynny proces fizjologiczny i stanowi duże obciążenie dla organizmu człowieka. Praca statyczna jest bardziej uciążliwa w porównaniu do pracy dynamicznej przy jednakowym wydatku energetycznym [16]. Praca statyczna charakteryzuje się stosunkowo małym zużyciem energii, gdyż duże obciążenie taką pracą powoduje mniejszy koszt energetyczny niż wykonywanie lekkiej pracy dynamicznej. Niestety w takich warunkach pomimo małego zapotrzebowania energetycznego w mięśniach powstaje dług tlenowy i wzrasta znaczenie przemian beztlenowych. Jak pisze M. Wróblewska dzieje się tak ponieważ: „przy pracy statycznej na skutek długotrwałego skurczu mięsień staje się twardy, a naczynia włosowate, którymi dostarczana jest krew, ulegają zacieśnieniu i tym samym wzrasta opór stawiany przepływowi krwi. W rezultacie mniej krwi przepływa przez mięsień, a tkanka mięśniowa nie otrzymuje już niezbędnych składników i utrudnione jest usuwanie produktów przemiany materii. Zmniejszenie przepływu krwi następuje już wówczas, gdy mięśnie są napięte powyżej 5% siły maksymalnej, a jest całkowite przy około 50% siły maksymalnej” [16]. Obciążenie pracą statyczną można wyznaczyć w warunkach laboratoryjnych oraz dzięki ocenie szacunkowej, której cechami są łatwość stosowania i przydatność w badaniach wykonywanych w naturalnych warunkach. Oceny obciążenia statycznego dokonuje się w oparciu o znajomość poniższych czynników [17]:

- rodzaj postawy (stojąca, kuczna itp.) w trakcie wykonywanych czynności roboczych,
- stopień wymuszenia zajmowanej pozycji i pochylecia ciała,
- możliwość zmiany pozycji ciała podczas wykonywania danej czynności.

### 3. Projektowanie środowiska pracy w przedsiębiorstwie produkcyjnym - metody badań

Nowoczesne podejście w projektowaniu i realizacji procesu organizacji pracy ma na celu poszukiwanie nowych i efektywnych środków zaradczych, które umożliwiłyby bardziej optymalne dostosowanie pracy do człowieka. Dlatego opracowywanie organizacji pracy powinno być realizowane zgodnie z zasadami projektowania systemów człowiek –

obiekt techniczny. Projektując środki pracy i przestrzeń pracy należy pamiętać o spełnieniu wymagań ergonomicznych określających ich przystosowania do anatomicznych i psychofizycznych możliwości człowieka. Takimi kategoriami wymagań są [18]:

- antropometryczne – wymagania odnoszące się do obiektów technicznych, określające ich dostosowanie do wymiarów i masy ciała ludzkiego lub jego części,
- fizjologiczne – wymagania odnoszące się do obiektów technicznych, określające ich dostosowanie do fizjologicznych cech człowieka,
- psychofizyczne – wymagania odnoszące się do obiektów technicznych, określające ich dostosowanie do odpowiedniego funkcjonowania zmysłów człowieka,
- higieniczne – wymagania odnoszące się do środowiska, określające jego dostosowanie do człowieka w celu zmniejszenia szkodliwych czynników środowiska oraz zapewnienia odpowiednich warunków pracy.

Układ przestrzenny tworzącej techniki powinien być rozpatrywany zarówno w otoczeniu dalszym jak i bliższym, w aspektach takich jak [19]:

- kształtowania granic przestrzeni roboczej,
- przestronności stanowiska pracy,
- kształtowania granic przestrzeni manipulacyjnej,
- kształtów i wymiarów siedzisk,
- stref wygody i identyfikacji wzrokowej,
- warunków rozmieszczenia urządzeń informacyjnych i sterujących.

Przestrzeń robocza, w której będzie odbywał się proces produkcyjny ma swoje granice określone przez wielkość powierzchni, na którą składa się wyposażenie stanowiska, stopień trudności dostarczania materiału, długość dróg komunikacyjnych, warunki bhp oraz warunki środowiskowe. Projektowanie struktury przestrzennej stanowiska pracy powinno uwzględniać warunki antropometryczne w powiązaniu z procesem pracy. Zajmowana pozycja ciała, granice zasięgów ruchu oraz wywierana siła podczas wykonywania czynności powinny być do siebie dostosowane dla uzyskania optymalnej pracy użytkownika, tak aby zredukować nadmierne obciążenie stawów, mięśni, więzadeł oraz układu oddechowego i układu krążenia.

Struktura przestrzenna stanowisk pracy powinna [20]:

- zapewnić bezpieczną i wygodną pracę dla 90% populacji użytkowników,
- być dostosowana do ich ekstremalnych cech wymiarowych,
- umożliwiać dopasowanie niektórych parametrów przestrzennych stanowiska do indywidualnych potrzeb użytkowników, wprowadzając możliwość regulacji,
- uniemożliwiać powstawanie zagrożeń wypadkowych i szkodliwych dla zdrowia
- zapewniać swobodę ruchów - zapewnić minimalny koszt biologiczny podczas wysiłku pracownika,
- zapewniać dobre warunki widoczności procesu pracy i otoczenia.

Całkowity zasięg widzenia, w którym za pomocą obu oczu, bez ich poruszania, można zaobserwować duże spoczywające, małe poruszające się przedmioty, sygnały optyczne, określa się mianem pola obserwacji. Strefy wygody pola widzenia i identyfikacji wzrokowej zależą od [21]:

- pozycji ciała przy pracy,
- odległości obrazu od oczu,
- charakteru wykonywanej pracy,
- rodzaju odbieranej przez zmysł wzroku informacji,
- wielkości obrazu, jego jednoznaczności, ostrości itp.,
- warunków oświetlenia.

Elementy sygnalizacyjne oraz urządzenia informacyjne powinny zostać dobrane, zaprojektowane i usytuowane w sposób zgodny z możliwościami percepcyjnymi człowieka. Należy zwrócić uwagę na: rodzaj i liczbę sygnałów, sposób ich rozmieszczenia w przestrzeni, kształt i wyrazistość. Natomiast urządzenia sterujące powinny być wybrane, dostosowane i umiejscowione w sposób zgodny z właściwościami zwłaszcza ruchowymi tej części ciała, za pomocą której będą te urządzenia używane. Należy wziąć pod uwagę wymagania dotyczące zręczności, dokładności, szybkości i siły. Urządzenia sterujące powinny być widoczne oraz łatwe do zidentyfikowania, a ich krytyczne położenia powinny być zabezpieczone przed przypadkowym użyciem. Urządzenia sterujące będące wyposażeniem stanowisk pracy powinny być zlokalizowane w strefie przestrzeni manipulacyjnej, gdyż współpracują ze sprawnością motorycznego oddziaływania człowieka na przebieg procesu produkcji. Urządzenia sterujące i informacyjne ze względu na swą konstrukcję powinny być łatwe do rozróżnienia, dzięki odpowiedniemu usytuowaniu w przestrzeni powinny być

operatywne oraz dostępne. Dostępność rozumiana jest jako przestrzeń robocza zaprojektowana, tak aby zapewniała komfortowe manipulowanie urządzeniami sterującymi. Zasady rozmieszczenia elementów sygnalizacyjnych i urządzeń sterujących [22]:

- grupowanie według ważności – najważniejsze powinny znajdować się w strefach łatwo dostępnych i widocznych; awaryjne – łatwo dostępne oraz wyraźnie oddzielone i odpowiednio oznakowane),
- kolejność użycia – powinny być rozmieszczone w kolejności w jakiej będą używane w celu zachowania ruchu płynnego i ciągłego, od strony lewej do prawej,
- częstość użytkowania – najczęściej używane powinny znajdować się w strefach optymalnych pod względem dostępności i widoczności.

Grupowanie według funkcji:

- sygnalizacja ogólna, informująca tylko, że coś się dzieje,
- wskazania jakościowe,
- wskazania ilościowe.

Ergonomiczne wymagania stawiane procesom informacyjnym dążą do tego aby [22]:

- przebiegały z szybkością optymalną tzn. umożliwiającą właściwe zrozumienie sygnałów i prawidłową reakcję na nie (zdarzenia prawdopodobne),
- przebiegały przy minimalnym wysiłku człowieka ze względu na konieczność spostrzegania i zrozumienia sygnałów,
- dawały pewność prawidłowego zrozumienia ich treści,- nie powodowały skutków ubocznych (choroby, wypadki).

Projektowanie środowiska pracy uwzględniającego czynniki fizyczne, biologiczne, chemiczne, kulturowe i społeczne powinno być tak dostosowane, aby nie wywierało dużego wpływu na samopoczucie i stan fizyczny ludzi, ale chroniło ich przed utratą zdrowia. Przyjazne człowiekowi środowisko, w którym wykonuje pracę powinno utrzymywać jego zdolność i gotowość do efektywnego jej wykonywania. Szczególne wymagania obejmują wymiary pomieszczeń, wentylację i skład powietrza, temperaturę otoczenia, oświetlenie, hałas, wstrząsy i drgania, promieniowanie, wpływ czynników szkodliwych, zastosowanie środków ochronnych. Projektowanie środków pracy i przestrzeni pracy powinno kształtować proces pracy, tak aby zagwarantował pracownikom ochronę zdrowia, zapewnił bezpieczeństwo a także przyczynił się do ich dobrego samopoczucia oraz usprawnił i udogodnił realizację celu pracy.

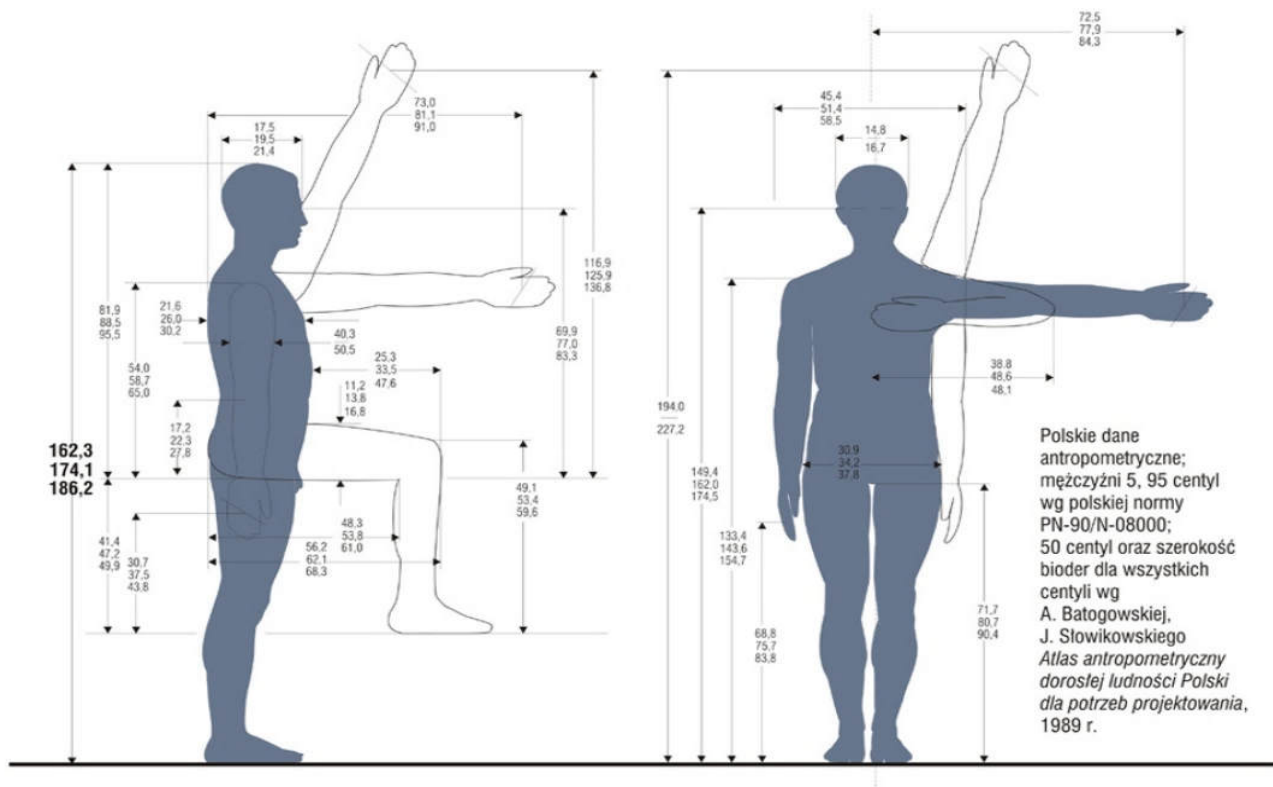
### 3.1. Cechy antropometryczne a projektowanie przestrzeni pracy

Jednym z podstawowych zagadnień ergonomii jest projektowanie struktury przestrzennej danego obiektu technicznego według kryteriów antropometrycznych. Polega ono na przystosowaniu sztucznego otoczenia jakim są stanowisko i narzędzia pracy do miar człowieka, czyli do jego psychofizycznych właściwości i budowy. Antropometria jako nauka o budowie, wielkości i proporcjach ludzkiego ciała dostarcza informacji, które są wykorzystywane do jak najlepszego dostosowania stanowiska pracy i narzędzi używanych do jej wykonania do predyspozycji fizycznych i psychicznych człowieka. Predyspozycje te są mało elastyczne dlatego warunkują kształtowanie struktury przestrzennej stanowiska pracy oraz jego elementów. Rozróżnia się cechy antropometryczne somatyczne - określające wysokości, szerokości, długości, głębokości i obwody ciała, oraz cechy funkcjonalne, np. zakresy kątowe oraz dystanse ruchów i nóg. Jako podstawowe cechy antropometryczne, użyteczne w analizie i projektowaniu stanowisk pracy, należy zaliczyć te, które wyznaczają wysokości i poziome granice stref pracy. Większość tych cech jest objęta normą krajową PN-90/N-08000. Rysunek 2 prezentuje podstawowe cechy antropometryczne, które są użyteczne w procesie projektowania przestrzeni pracy.

Cechy brane pod uwagę dla pozycji stojącej to przede wszystkim wymiary zasięgów rąk i nóg a także wymiar wysokości wzrokowej, barkowej i łokciowej oraz przestrzeni widzenia. Pozycja siedząca, poza wymienionymi, również w swojej analizie uwzględnia wymiary wysokości podkolanowej, grubości uda a także długości siedzeniowej. Do oceny przestrzennych rozwiązań stanowisk pracy, należy uwzględnić kinematykę ruchów człowieka w odniesieniu do [24]:

- układu: powierzchnia - przestrzeń robocza - przestrzeń odpoczynkowa,
- wysokości i kształtu obszaru pracy,
- ukształtowania pola widzenia,
- usytuowania środków i przedmiotów pracy,
- pozycji człowieka przy pracy.



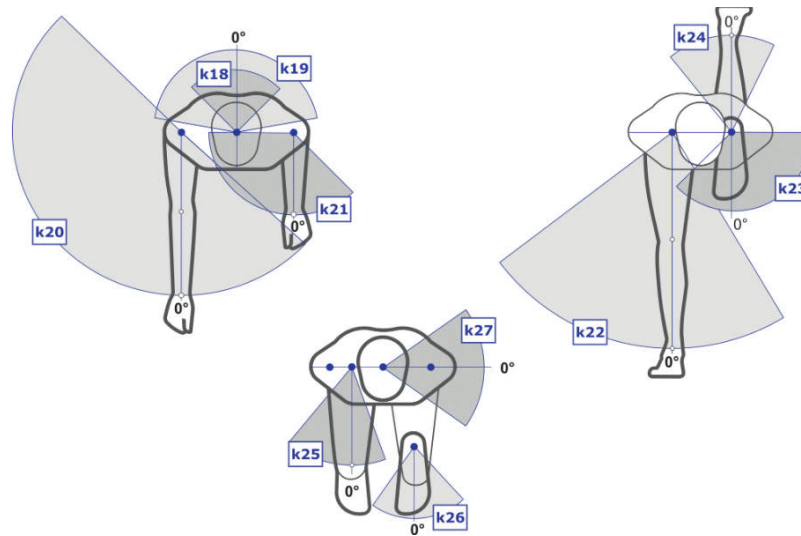


Rysunek 2. Podstawowe cechy antropometryczne do projektowania [23]

Na strukturę przestrzenną obiektu technicznego składa się jego konstrukcja, kształt, rozmiary i konfiguracja elementów. W ujęciu ergonomicznym w szczególności ważna jest ta część obiektu, która składa się na „interface” z człowiekiem. W przypadku stanowiska maszynowego jest to forma obudowy, ukształtowanie i dyslokacja elementów sterowniczych oraz informacyjnych, a także narzędzi i materiału. Struktura ta charakteryzuje przestrzeń dla czynności rąk i nóg oraz obserwacji. Może także określać pozycję roboczą oraz możliwość przemieszczania się pracownika. W przestrzennej strukturze stanowiska pracy wyróżnić można tak zwane punkty kontaktowe. „Wiążą” one człowieka z obiektem w procesie pracy. Są to elementy, z którymi człowiek ma styczność w sposób dotykowy lub wizualny (np. elementy sterownicze, sygnalizacyjne). Położenie punktów kontaktowych powinno odpowiadać charakterystyce wymiarowej populacji pracowników, ponieważ w dużym stopniu decyduje ono o komforcie lub uciążliwości, czy wręcz bezpieczeństwie pracy. Parametry ciała ludzkiego wyraża się w centylach, co ułatwia projektantowi określenie, jakiej części populacji jego rozwiązania zagwarantują funkcjonalność i wygodę. Podczas projektowania stanowiska pracy konieczne jest ustalenie wymiarów potencjalnego użytkownika, które pomogą ustalić takie parametry jak [25]:

- obszar pracy,
- odpowiednie rozmiary powierzchni stanowiska,
- wysokość obsługiwanych elementów stanowiska,
- parametry siedzisk i wykorzystywanych urządzeń.

Podstawowym źródłem danych antropometrycznych jest aktualna norma krajowa PN-90/N-08000, określająca główne wymiary mężczyzn i kobiet w wieku aktywności zawodowej. Ponadto opublikowane są normy bardziej szczegółowe, dotyczące granic zasięgu rąk i stóp (rysunek 3), stref pracy kończyn górnych (rysunek 3), czy przestrzeni dla ręki obejmującej uchwyt [26]. Opis praktycznego stosowania miar centylowych zawarty jest w „Atlasie antropometrycznym dorosłej ludności Polski dla potrzeb projektowania”. Jest on źródłem zawierający dane dla 200 cech pomiarowych oraz opis metodyki stosowania kryteriów antropometrycznych.



**Rysunek 3.** Zestawienie zasięgów ruchu kończyn górnych i dolnych [27]

Na rysunku 3 zostały przedstawione następujące kąty zasięgów ruchu [27]:

- łatwy kąt obrotu głowy (k18)
- maksymalny kąt obrotu głowy (k19a)
- kąt kończyny górnej w stawie barkowym (k20)
- kąt przedramienia w stawie łokciowym (k21)
- kąt kończyny dolnej w stawie biodrowym (k22a)
- kąt stopy w stawie skokowym w pozycji stojącej (k23a)
- kąt podudzia przy zgięciu do tyłu (k24a)
- kąt uda w stawie biodrowym w pozycji siedzącej (k25)
- kąt stopy w stawie skokowym w pozycji siedzącej (k26a)
- kąt obrotu obręczy barkowej (k27)

Chcąc zastosować dane antropometryczne, należy wziąć pod uwagę płaszczyzny oraz punkty odpowiednie dla odniesienia miar. Praktyczne wykorzystanie mają te bazy wymiarowania, które można uznać za wspólne dla człowieka i obiektu technicznego. Umożliwiają one porównanie miar i określenie zależności przestrzennych pomiędzy człowiekiem i obiektem technicznym. Bazy wymiarowania przedstawiono poniżej [18]:

- płaszczyzna podstawy (basis, B),
- płaszczyzna czołowa przednia (basis anterior, BA), która określa „czysty” wymiar przestrzeni funkcjonalnej rąk i przestrzeni widzenia,
- płaszczyzna czołowa tylna (basis posterior, BP) w odniesieniu do pozycji siedzącej,
- pozioma płaszczyzna siedzeniowa (basis sedentaris, BS),
- siedzeniowy punkt odniesienia (seat reference point, SRP),
- punkt podparcia stopy (heel point, HP),
- punkt zaznaczający oś stawu biodrowego (hip point, H).

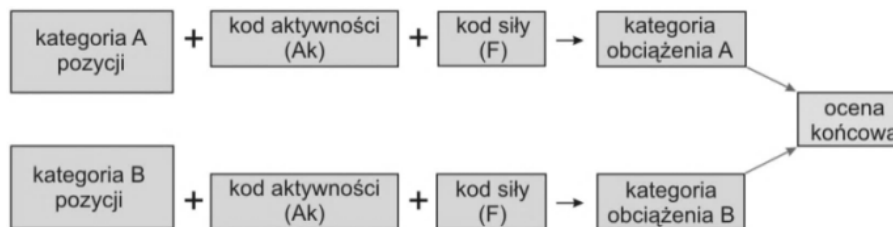
Podstawowymi założeniami do projektowania struktury przestrzennej obiektu są miary człowieka, które powinny zostać uwzględnione od najwcześniejszych etapów kształtowania stanowiska pracy. Efektem realizacji takich założeń ergonomicznych jest optymalne scalenie funkcjonalno-strukturalne człowieka i maszyny. Analiza cech i właściwości potencjalnego użytkownika powinna być przeprowadzona wnikliwie i musi zawierać [28]:

- analizę funkcji ludzkich oraz jego potrzeb, które z projektowaną przestrzenią użytkową lub urządzeniem mają ścisły związek,
- funkcjonalny plan maszyny wraz z analizą czynności wykonywanych przez operatora,
- skoordynowanie funkcji i potrzeb operatora z założeniami maszyny.

### 3.2. Ocena postawy ciała podczas pracy metodą RULA

Metoda RULA jest metodą oceny ryzyka zawodowego uwzględniającą obciążenie całego układu mięśniowo-szkieletowego. Obciążenie to może wynikać zarówno z siły koniecznej do utrzymania pozycji ciała (obciążenie

posturalne), jak i siły wymaganej do wykonania określonego zadania. Metoda ta jest ukierunkowana na analizę obciążenia szyi, tułowia oraz kończyn górnych w czynnościach wykonywanych w każdej pozycji ciała występującej w cyklu pracy [29,30]. Metoda może być stosowana zarówno w procesie projektowania ergonomicznego, jak i podczas ergonomicznego korygowania stanowiska pracy w zakresie pozycji obciążenia zewnętrznego lub stosowanych sił [31]. Oceniana jest tylko jedna strona (jedna kończyna górna). W sytuacjach, gdy występuje obciążenie obydwu kończyn konieczne jest przeprowadzenie oceny dla każdej z kończyn niezależnie. W celu przeprowadzenia oceny ryzyka z zastosowaniem metody RULA konieczne jest przeprowadzenie trzech kroków: ocena pozycji ciała podczas pracy, zastosowanie systemu oceny, ocena ryzyka. [30] W metodzie RULA w celu identyfikacji pozycji ciała zakresy ruchu rozpatrywane są w płaszczyźnie strzałkowej. Jeżeli pozycja ciała wymaga uwzględnienia również ruchu lub położenia w innych płaszczyznach np. gdy występuje odwodzenie dokonywana jest modyfikacja nadanego kodu położenia. [30] Definiowanie pozycji ciała przebiega w odniesieniu do dwóch obszarów ciała zgrupowanych w grupie A i w grupie B. W grupie A znajduje się ramię, przedramię oraz nadgarstek z uwzględnieniem sekcji zawierającej pronację i supinację. W grupie B znajdują się pozycje kręgosłupa i nóg. Definiując pozycję kręgosłupa, określany jest kąt zgięcia szyi oraz kąt zgięcia kręgosłupa w części lędźwiowej. Położeniom poszczególnych segmentów nadawane są odpowiednie kody. [30] W całkowitej ocenie ryzyka uwzględniany jest charakter wywieranej siły i jej wartość. Ocena obciążenia statycznego lub sił wywieranych takich, które powodują zmęczenie i następujące po tym procesy degeneracyjne zależy od tego czy operatorzy są narażeni na występowanie czynników ryzyka związanych z czasem utrzymywania pozycji ciała. Jeżeli występuje obciążenie statyczne (niezmienna pozycja ciała utrzymywana jest przez dłużej niż 1 min) kod oceny pozycji ciała zwiększany jest o 1. Podobnie w przypadku wykonywania pracy powtarzalnej. W metodzie tej uznaje się, że praca powtarzalna występuje wówczas, gdy czynność powtarzana jest częściej niż cztery razy na minutę. [30] Uwzględnianie udziału siły zewnętrznej uzależnione jest od masy narzędzi i wartości wywieranych sił. Różnej wartości siły nadawane są różne kody Jeżeli wywierana siła wynosi 2 kg lub mniej a obciążenie jest zmienne, wówczas kod siły wynosi 0. Jeżeli przy zmiennym obciążeniu siła wynosi od 2 do 10 kg przyjmowany jest kod 1. Jeżeli natomiast utrzymywana jest siła statyczna bądź powtarzalna o wartości od 2 do 10 kg kod wynosi 2. Jeżeli siła jest zmienna, ale o wartości powyżej 10 kg również kod wynosi 2. W przypadku wywierania siły statycznej lub w sposób powtarzalny o wartości powyżej 10 kg, kod wynosi 3. Również w przypadku gdy siła bez względu na swoją wartość jest wywierana w sposób gwałtowny kod wynosi 3. [30] Rysunek 4 przedstawia schemat postępowania podczas stosowania metody RULA.

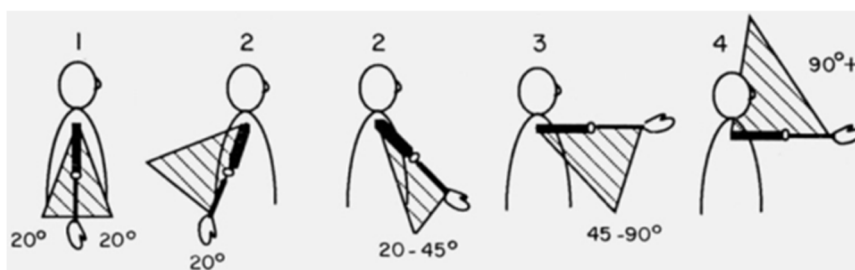


**Rysunek 4.** Schemat postępowania podczas stosowania metody RULA [32]

Analizę systemu kodowania można rozpocząć od Grupy A:

W przypadku ramienia nadawane są kody (rysunek 5) [30]:

- 1 – wówczas, gdy kąt znajduje się między  $20^\circ$  prostowania do  $20^\circ$  zginania,
- 2 – wówczas, gdy kąt prostowania jest większy od  $20^\circ$  a kąt zginania jest pomiędzy  $20^\circ$  a  $45^\circ$ ,
- 3 – wówczas, gdy kąt zginania jest z zakresu  $45^\circ$ - $90^\circ$ ,
- 4 – wówczas, gdy kąt zginania jest powyżej  $90^\circ$ .

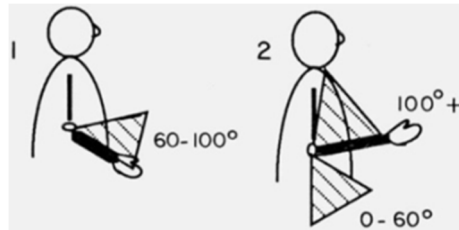


**Rysunek 5.** Kody nadawane poszczególnym położeniom ramienia w metodzie RULA [32]

W momencie, w którym występuje uniesienie barku, wówczas kod jest zwiększany o 1, jeśli występuje odwieńdzenie ramienia, kod zwiększany jest o 1 pkt. W przypadku wystąpienia podparcia kod jest zmniejszany o 1 pkt. [30]

Położeniu przedramienia może być nadany jeden z dwóch kodów (rysunek 6):

- 1 – wówczas, gdy zgięcie w łokciu jest w zakresie od  $60^{\circ}$  –  $100^{\circ}$ ,
- 2 – wówczas, gdy kąt zgięcia w łokciu jest poniżej  $60^{\circ}$  lub powyżej  $100^{\circ}$ .

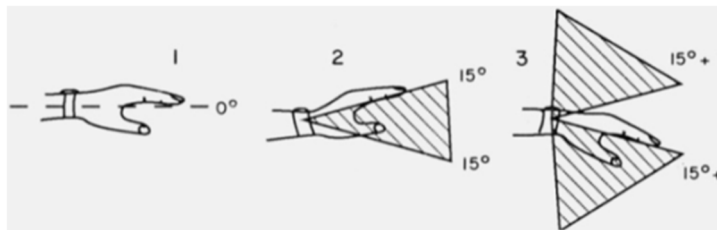


**Rysunek 6.** Kody nadawane poszczególnym położeniom przedramienia w metodzie RULA [32]

Jeżeli położenie przedramienia przekracza linię środkową ciała lub znajduje się na zewnątrz ciała od linii barku kod jest zwiększany o 1. [30]

W przypadku nadgarstka nadawane są kody (rysunek 7):

- 1 – wówczas, gdy nadgarstek jest w pozycji naturalnej (ręka i przedramię tworzą linię prostą),
- 2 – wówczas, gdy kąt między ręką a przedramieniem jest między  $0^{\circ}$  a  $15^{\circ}$  zginania lub prostowania,
- 3 – wówczas, gdy kąt zginania lub prostowania przekracza  $15^{\circ}$ .



**Rysunek 7.** Kody nadawane poszczególnym położeniom nadgarstka w metodzie RULA [32]

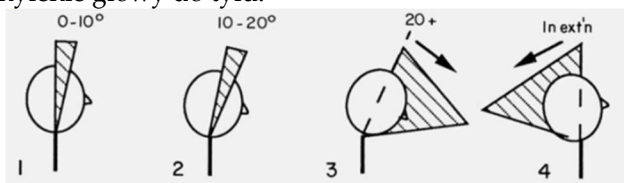
Jeżeli występuje odwodzenie lub przywodzenie nadgarstka wówczas kod jest zwiększany o 1. W przypadku pronacji i supinacji przedramienia nadawane są następujące kody [30]:

- 1 – wówczas, gdy występuje położenie w połowie zakresu,
- 2 – jeżeli występuje położenie bliskie końca zakresu ruchu.

Przy grupie B, w której znajdują się pochylenie głowy, położenie pleców i nóg, rozróżniamy następujące kody:

W przypadku kąta pochylenia głowy nadawane są następujące kody (rysunek 8):

- 1 – dla zgięcia w zakresie  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$ ,
- 2 – dla zgięcia w zakresie  $10^{\circ}$ - $20^{\circ}$ ,
- 3 – dla zgięcia powyżej  $20^{\circ}$ ,
- 4 – jeżeli występuje odchylenie głowy do tyłu.

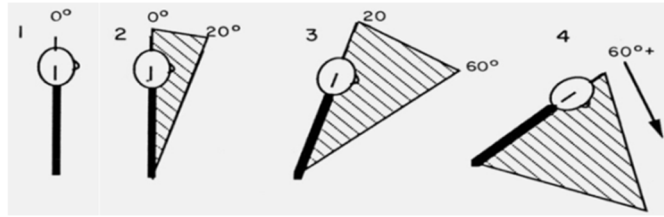


**Rysunek 8.** Kody nadawane poszczególnym położeniom głowy w metodzie RULA [32]

W przypadku gdy występuje skręt szyi bądź pochylenie głowy na bok, kod jest zwiększany o 1. Pozycji pleców nadawane są kody (rysunek 9):

- 1 – wówczas, gdy jest plecy są wyprostowane,
- 2 – wówczas, gdy występuje pochylenie lub odchylenie do tyłu w zakresie  $0^{\circ}$ - $20^{\circ}$ ,
- 3 – wówczas, gdy występuje pochylenie lub odchylenie do tyłu w zakresie  $20^{\circ}$ - $60^{\circ}$ ,
- 4 – wówczas gdy występuje zgięcie o kąt  $60$  lub więcej.





Rysunek 9. Kody nadawane poszczególnym położeniom pleców w metodzie RULA [32]

Jeżeli występuje skręt lub pochylenie boczne pleców, wówczas kod jest zwiększany o 1.

W przypadku położenia nóg przyjmowane są kody:

- 1 – wówczas, gdy w pozycji siedzącej noga i stopa są dobrze podparte przy właściwie rozłożonym ciężarze ciała,
- 1 – wówczas, gdy w pozycji stojącej ciężar ciała jest równomiernie rozłożony pomiędzy stopami z możliwością zmian pozycji ciała,
- 2 – wówczas gdy nogi i stopy nie są podparte lub ciężar ciała nie jest równomiernie rozłożony.

Tabela 1. Wskaźnik oceny łącznego obciążenia kończyny górnej przyjmowaną pozycją [33]

Wskaźnik oceny łącznego obciążenia kończyny górnej przyjmowaną pozycją									
Ramię	Przedramię	Nadgarstek							
		1		2		3		4	
		Skręcenie nadgarstka		Skręcenie nadgarstka		Skręcenie nadgarstka		Skręcenie nadgarstka	
		1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	6	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Tabela 2. Wskaźnik oceny łącznego obciążenia szyi, tułowia i kończyn dolnych [33]

Wskaźnik oceny łącznego obciążenia szyi, tułowia i kończyn dolnych												
Suma dla pozycji szyi	Suma dla pozycji tułowia											
	1		2		3		4		5		6	
	Nogi		Nogi		Nogi		Nogi		Nogi		Nogi	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

Tabela 3. Wskaźnik oceny całkowitego obciążenia ciała pozycją, używaną siłą i dynamiką ruchów [33]

Wskaźnik oceny całkowitego obciążenia ciała pozycją, używaną siłą i dynamiką ruchów.								
		Suma B (szyja, tułów, nogi)						
		1	2	3	4	5	6	≥6
Suma A (kończyny górne)	1	1	2	3	3	4	5	5
	2	2	2	3	4	4	5	5
	3	3	3	3	4	4	5	6
	4	3	3	3	4	5	6	6
	5	4	4	4	5	6	7	7
	6	4	4	5	6	6	7	7
	7	5	5	6	6	7	7	7
	≥7	5	5	6	7	7	7	7

Za pomocą uzyskanych kodów położenia nadgarstka, ramienia i przedramienia w grupie A oraz kodów szyi, pleców i nóg w grupie B określana jest kategoria pozycji ciała. Po określeniu wszystkich kategorii zawartych powyżej, można przystąpić do oceny postury ciała. W zależności od przedziałów punktowych, należy podjąć odpowiednie działania [34]:

- Wynik wynosi 1 lub 2 pkt: Poziom działania 1, postawa jest akceptowalna, jeśli nie jest powtarzalna lub utrzymywana przez dłuższy czas.
- Wynik wynosi 3 lub 4 pkt: Poziom działania 2, postawa wymaga obserwacji i przeprowadzenia badań, mogą być konieczne zmiany.
- Wynik wynosi 5 lub 6 pkt: Poziom działania 3, postawa wymaga szybkiego przeprowadzenia badań i wprowadzenia zmian.
- Wynik wynosi 7+ pkt: Poziom działania 4, postawa wymaga natychmiastowego przeprowadzenia badań i zmian.

#### 4. Ocena postawy ciała pracownika podczas montażu mebli w przedsiębiorstwie

Obserwacji został poddany pracownik branży meblarskiej, zajmujący się montażem mebli. Proces realizowany polegał na przygotowywaniu drewnianych drzwiczek do szafek, których przeznaczeniem było wyposażenie klubu sportowego. Jego zadaniem było przykręcanie zawiasów za pomocą wkrętarki oraz wbijanie tulejek metalowych za pomocą młotka do wcześniej wywierconych otworów.

#### 4.1. Ocena postawy ciała pracownika branży meblarskiej - metoda RULA

Po dokonaniu obserwacji przeprowadzono rozmowę z pracownikiem, który razem z obserwatorami zdefiniowali, że:

- Położenie ramienia górnego prawego przekroczyło zakres  $45^\circ$ , jednakże nie wykroczyło poza  $90^\circ$ . Dodatkowo, ramię jest uniesione i dostrzeżono odwodzenie górnej części ramienia od boku ciała.
- Położenie przedramienia prawego znalazło się pomiędzy kątami  $60^\circ$  i  $100^\circ$ .
- Położenie prawego nadgarstka mieściło się w połowie zakresu między kątami  $15^\circ$
- Wykryto skręt prawego nadgarstka
- Obciążenie prawego ramienia i nadgarstka mieściło się w zakresie 2 – 10 kg
- Położenie ramienia górnego lewego, podobnie jak prawego mieściło się w zakresie  $45^\circ$ - $90^\circ$ . Dostrzeżono także odwodzenie górnej części ramienia.
- Położenie lewego przedramienia znalazło się w zakresie  $60^\circ$  i  $100^\circ$ .
- Położenie lewego nadgarstka, było takie samo jak prawego.
- Wystąpił skręt lewego nadgarstka
- Obciążenie górnych kończyn lewej strony ciała znalazło się w zakresie 2 – 10 kg.
- Pracownik zginał głowę w dół pod kątem  $20^\circ$ . Wystąpiło także obrócenie szyi na bok.
- Plecy pracownika zostały wychylone do przodu o  $40^\circ$ .
- Nogi i stopy pracownika były dobrze podparte i znajdowały się w zrównoważonej postawie
- Całkowite obciążenie wywarte na szyję, tułów i nogi nie przekroczyło 2 kg.
- Postawa przez pracownika miała charakter postawy statycznej. Nie była powtarzana częściej niż 4 razy na minutę i nie była utrzymywana przez dłużej niż 1 minutę.

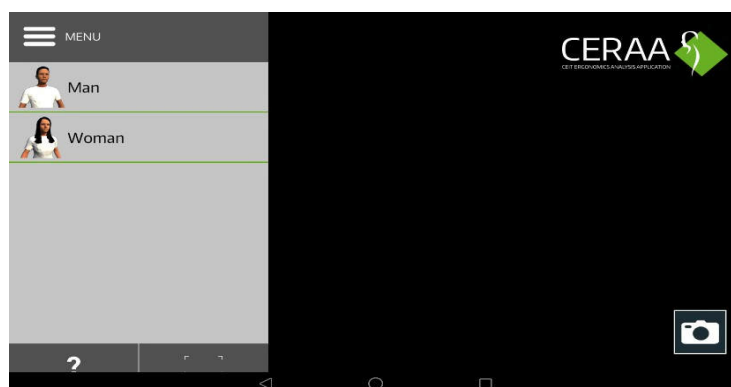
Końcowe wartości punktowe dla analizy można odczytać z warunków przedstawionych w podpunkcie 3.2. oraz Tabelach (1-2) Prezentują się następująco:

- Wynik końcowy ręki i nadgarstka = 8 pkt
- Wynik końcowy za szyję, tułów i nogi = 7 pkt

Odczytując wyniki z Tabeli 3, można szybko zauważyć, że wartość punktowa wynosi 7pkt – co oznacza potrzebę wprowadzenia natychmiastowych zmian i badań.

#### 4.2. System CEIT jako fuzja rozszerzonej rzeczywistości i ergonomii – analiza przypadku

System CEIT to umożliwia prowadzenie oceny postaw ciała pracowników, podczas gdy oni wykonują czynności związane z pracą. Ocena przeprowadzana jest za pomocą modułu AR zintegrowanego z urządzeniem mobilnym – w tym przypadku jest to tablet firmy Huawei. Ocenę przeprowadza operator za pomocą zmysłu wzroku, poprzez wizualną ocenę i porównanie stanu rzeczywistego z modelem 3D rzutowanym w przestrzeni AR. Model 3D widoczny w środowisku AR, może przyjmować różne formy, każda z nich może zostać wykorzystana jako wzorzec opracowany na podstawie norm technicznych, legislacji Słowackiej, Czeskiej i Europejskiej.



Rysunek 10. Ekran wyboru płci osoby badanej [35]

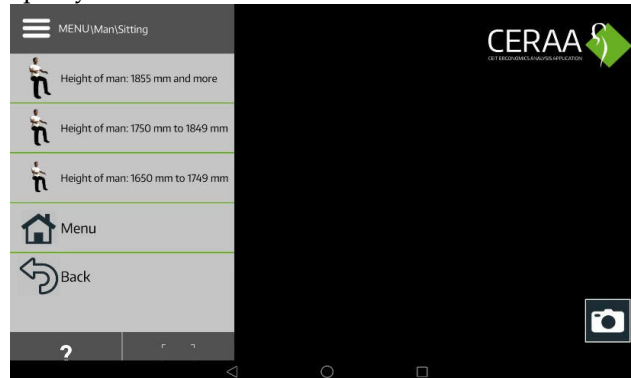
Moduł ten wykorzystuje także technologię markera – jest to plakat, który może być wykorzystany do unieruchomienia modelu 3D w przestrzeni AR. Pozwala to na precyzyjne przeskalowanie modelu do rozmiarów rzeczywistych i

umieszczenie go w miejscu wybranym przez operatora urządzenia. Ocenę postury rozpoczyna się od zdefiniowania następujących cech osoby badanej [35]:

- Płeć (rysunek 10).
- Rodzaj postury pracy (stojąca / siedząca).
- Wysokość pracownika – do wyboru są 3 zakresy wysokości (rysunek 11).

Po zdefiniowaniu powyższych cech, badający może wybrać spośród 4 metod oceny (rysunek 12):

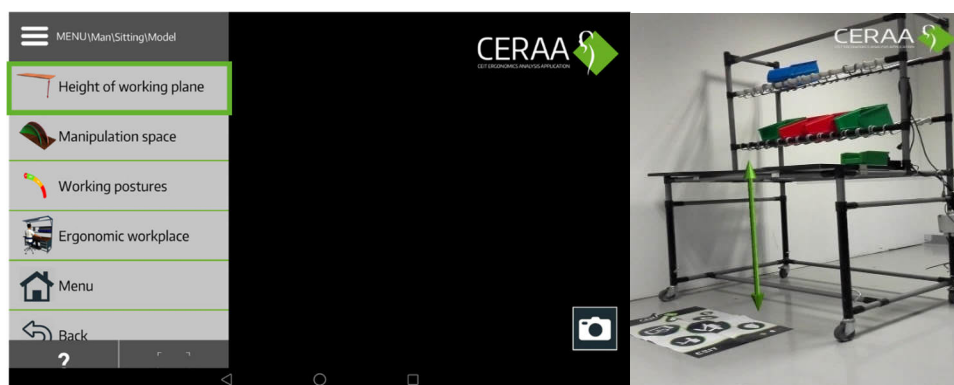
- Ocena wysokości płaszczyzny roboczej.
- Ocena strefy manipulacyjnej.
- Ocena postury pracy.
- Ergonomiczne stanowisko pracy.



**Rysunek 11.** Ekran wyboru wysokości osoby badanej [35]

Moduł ocena wysokości płaszczyzny roboczej (rysunek 12) pozwala na ocenę przestrzeni, w której pracownik wykonuje najczęstsze ruchy robocze górnymi kończynami (rękami i dłońmi). Jeśli pracownik ma przykładowo półprodukt w uchwycie montażowym na swoim biurku, wtedy poziom płaszczyzny roboczej znajduje się na wysokości tego produktu. Ocenę dokonuje się na podstawie wymagań wzrokowych zaklasyfikowanych następująco [35]:

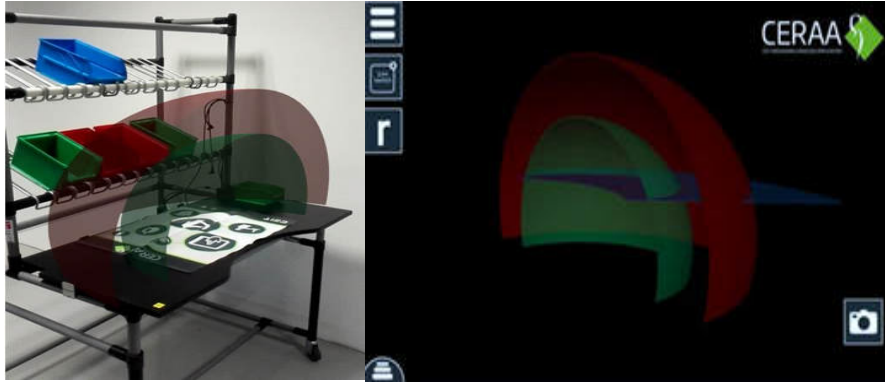
- Duże wymagania wzrokowe - jest to wysokość pracy o dużych wymaganiach wzrokowych i dokładnościowych podczas pracy z małymi komponentami.
- Średnie wymagania wzrokowe – jest to średnia wysokość płaszczyzny pracy podczas wykonywania działań nie wiążących się z manipulacją małych komponentów lub ciężkich ładunków.
- Niskie wymagania wzrokowe- są to aktywności wiążące się z manipulacją obiektów cięższych niż 2 kg.



**Rysunek 12.** Ekran wyboru metody oceny z zakreśloną wysokością płaszczyzny pracy oraz pokazana ocean wysokości płaszczyzny obok [35]

Moduł oceny stref to porównanie stanu rzeczywistego do optymalnej i maksymalnej przestrzeni manipulacyjnej pracownika w pozycji siedzącej lub stojącej. Strefy zasięgu są modelowane na podstawie obliczeń (szerokość, wysokość i głębokość przestrzeni dla optymalnego manipulowania), danych z atlasu antropometrycznego oraz wzorów z norm technicznych. Oznacza to, że dla każdej płci, pozycji i wzrostu istnieje inny wymiar stref zasięgu. Nie jest wymagana obecność pracownika do oceny stref zasięgu – oceniamy rozmieszczenie elementów miejsca pracy w danych strefach. Strefy klasyfikowane są następująco (rysunek 13) [35]:





**Rysunek 13.** Modele AR zasięgu chwytu i poziomu serca w aplikacji CERAA [35]

- Optymalna przestrzeń ruchu – zielona, najbliższa połowa łuku – elementy miejsca pracy, którymi pracownik manipuluje najczęściej, powinny być umieszczone w tej strefie. Oznacza to, że są one używane wielokrotnie w każdym cyklu pracy.
- Maksymalna przestrzeń ruchu – czerwona, najdalsza połowa łuku – elementy miejsca pracy, którymi pracownik manipuluje z mniejszą częstotliwością niż te umieszczone w zielonej połowie łuku, powinny znajdować się tutaj.
- Za czerwoną strefą umieszczamy elementy miejsca pracy, którymi pracownik manipuluje sporadycznie. Aby dosięgnąć do tej strefy, pracownik musi odejść od pozycji neutralnej, przyjmując niefizjologiczne postawy robocze.
- Istnieje także opcja oceny poziomu serca pracownika przy stanowisku. Wysokość ta jest określona płaszczyzną ustawioną prostopadłe do pracownika i równoległe do płaszczyzny pracy (rysunek 13).

Moduł ocena postury pracy pozwala na prowadzenie oceny pozycji głowy, tułowia i kończyn górnych (rysunek 2, rysunek 14) [35]:

- Zginanie tułowia w przód i w tył.
- Zginanie tułowia na boki.
- Rotacja tułowia.
- Zginanie głowy w przód i w tył.
- Zginanie głowy na boki.
- Rotacja głowy.
- Wyciągnięcie prawej górnej kończyny w górę.
- Wyciągnięcie lewej górnej kończyny w górę.
- Wyciągnięcie prawej górnej kończyny do przodu.
- Wyciągnięcie lewej górnej kończyny do przodu.
- Stoper, służący do pomiaru czasu pracownika, przyjmującego daną posturę

Każda z tych pozycji ma zdefiniowane zakresy wartości kątów, które określają, czy dana pozycja robocza jest akceptowalna, warunkowo akceptowalna czy też nieakceptowalna (rysunek 6-9, rysunek 14).



**Rysunek 14.** Ekran różnych wybranych ocen postury pracownika w systemie CEIT [35]

Aby obiektywnie ocenić ryzyko, należy uwzględnić czynnik czasu (niezbędny do oceny zgodnie z przepisami) oraz rodzaj obciążenia (potrzebny do oceny na podstawie norm EN i przepisów prawa słowackiego). Według oceny ryzyka zgodnie z przepisami ryzyko występuje, gdy [35]:

- Pozycja czerwona lub pomarańczowa utrzymuje się nieprzerwanie przez ponad 1 minutę.
- Pracownik spędza w czerwonych strefach więcej niż 30 minut łącznie.
- Pracownik spędza w pomarańczowych strefach więcej niż 160 minut łącznie.
- Całkowity czas trwania poszczególnych nieakceptowalnych oraz warunkowo akceptowalnych pozycji roboczych przekracza połowę zmiany roboczej.

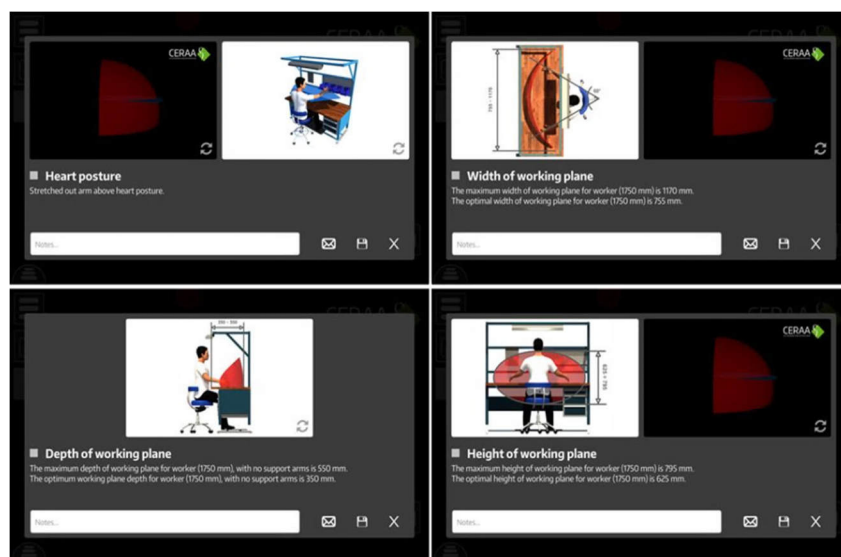
Moduł ergonomiczne stanowisko pracy to teoretycznie idealne stanowisko montażowe, zaprojektowane na podstawie podstawowych wymiarów zgodnych z normami technicznymi oraz wzorów uzupełnionych danymi z antropometrii. Dlatego jest ono powiązane z wyborem płci, pozycji roboczej oraz wzrostu pracownika. Konkretnie wymiary, modelowane na podstawie tego wyboru i obliczeń, dotyczą (rysunek 15) [35]:

- wysokości stołu,
- wysokości krzesła roboczego,
- wysokości podnóżka,
- głębokości przestrzeni na stopy.



**Rysunek 15.** Identyfikacja ergonomii stanowiska w rzeczywistym środowisku produkcyjnym [35]

Typ krzesła, wymiary stołu roboczego oraz inne elementy stanowiska pracy są dostosowane do tych parametrów. Podczas prowadzenia oceny, osoba prowadząca badanie może skorzystać z 'punktów informacyjnych' wyświetlających się w kluczowych miejscach na modelu w przestrzeni AR (rysunek 15). Punkty te dostarczają ważnych informacji na temat wymogów technicznych i legislacyjnych dotyczących miejsc kluczowych w danej ocenie [26].

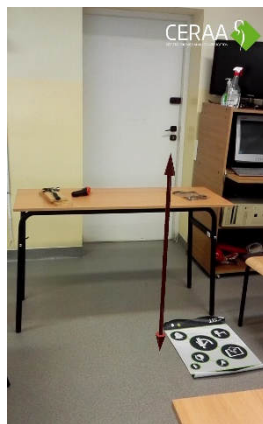


**Rysunek 16.** Punkty informacyjne aktywowane z modelu stref zasięgu [35]

#### 4.3. Ocena postawy ciała pracownika – system CEIT

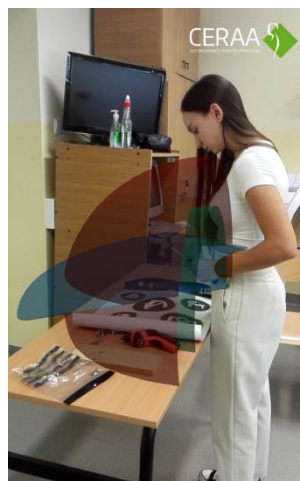
W zestawieniu z oceną RULA, która została przeprowadzona wyżej na pracowniku branży meblarskiej, gdzie wykazano, że postawa przyjęta przez pracownika jest nieakceptowalna. Równoległe przeprowadzono ocenę w środowisku AR za pomocą systemu CEIT. Ze względu na tajemnice handlowe przedsiębiorstwa, stanowisko pracy odtworzono w warunkach laboratoryjnych. Aby wykonać kompleksową ocenę postury należy:

1. Wykonać ocenę wysokości płaszczyzny roboczej, czyli skontrolować wzrokowo stan rzeczywisty stanowisku z modelem AR i informacjami zawartymi w punktach informacyjnych. Na rysunku 17 przedstawiono zdjęcie z oceny stanowiska. Pracownik branży meblarskiej pracuje z małymi elementami – w związku z tym wymagania wzrokowe zostały określone jako wysokie. Ocena przebiega stosunkowo prosto - widać, iż koniec strzałki wyznaczającej idealną wysokość płaszczyzny roboczej znajduje się wyżej, niż rzeczywista płaszczyzna robocza. Oznacza to, że wysokość płaszczyzny roboczej jest nieadekwatna do wykonywanego zadania. Dodatkowo, po zmierzeniu wysokości biurka i zestawieniu wyniku z zalecaną wysokością (1104 mm), różnica wyniosła około 30 cm.



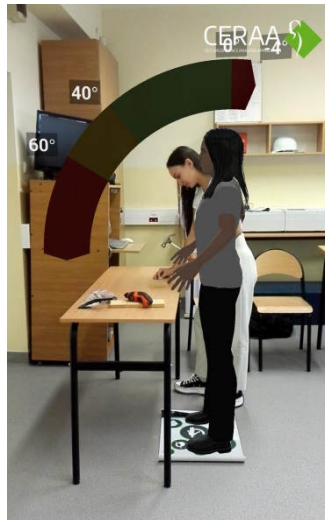
**Rysunek 17.** Ocena postawy pracownika – ocena wysokości płaszczyzny roboczej

2. Wykonać ocenę stref zasięgu chwytu i poziomu serca, zestawiając stan rzeczywisty z modelami AR i informacjami zawartymi w punktach informacyjnych. Ocena została przedstawiona na rysunku 18. Podczas analizowania zdjęcia, można zauważyć, że duża część płaszczyzny roboczej znajduje się w zielonej i czerwonej strefie, których głębokość, wysokość i szerokość wynoszą odpowiednio 310 mm, 590 mm, 685 mm oraz 500 mm, 755 mm i 1100 mm. Jedynym zestawem przedmiotów znajdującym się poza strefą zasięgu jest zestaw śrub i wkrętów. Poziom serca modelu znajduje się poniżej poziomu serca pracownika, co może być potraktowane jako wyznacznik zbyt niskiego poziomu płaszczyzny roboczej.



**Rysunek 18.** Ocena postawy pracownika – ocena stref zasięgu chwytu i poziomu serca

- Wykonać ocenę postury pracownika, wedle uznania badającego może się to odbyć na podstawie norm słowackich lub standardów technicznych. Ocenę należy poprowadzić przez wszystkie możliwe moduły ocen, rozumie się przez to ocenę pozycji głowy, tułowia i kończyn górnych. Wyniki należy zebrać na podstawie zaobserwowanych stanów rzeczywistych i zestawieniu ich z wzorcem w środowisku AR. Stanowisko oceniono pod wszystkimi możliwymi wariantami dostępnymi w aplikacji. W tym celu wykonano serię 20 pomiarów, jeden z nich przedstawiono na rysunku 19. Kąt pochylenia pracownika mieści się w zakresie  $0^{\circ}$  –  $40^{\circ}$ . Badanie wykazało, niezależnie od oceny za pomocą legislacji czy norm technicznych, że pracownik spędzał w pomarańczowych strefach powyżej 160 minut. Stanowi to potencjalne zagrożenie dla postury pracownika, które należy wyeliminować.



**Rysunek 19.** Ocena postawy pracownika – pomiar wychylenia tułowia w przód

- Wykonać ocenę stanowiska pracy, zestawiając je z modelem AR dostępnym w aplikacji CEIT



**Rysunek 20.** Ocena postawy pracownika – zestawienie modelu AR ergonomicznego stanowiska z sytuacją rzeczywistą

Wymiary ergonomicznego stanowiska pracy zawierają wymiary podane w podpunktach 1-3, na zdjęciu (rysunek 20) zestawiono model AR z rzeczywistym stanowiskiem pracy w celu ich porównania. W tym wypadku, wymiary stanowiska pracy są nieadekwatne, więc należy dołożyć wszelkich starań, aby osiągnąć stan akceptowalny poprzez działania korekcyjne. Ważnym jest, aby były one zgodne z zasadami ergonomii i przepisów prawa zawartymi w punktach informacyjnych. Jeżeli elementy stanowiska pracy nie znajdują się w strefach zasięgu, należy sprawdzić, czy tylko elementy niezbędne do pracy są w zasięgu, zbędne elementy należy usunąć. W zależności od częstotliwości



użycia, należy umieścić elementy jak najbliżej pracownika (najczęściej używane komponenty, narzędzia i inne elementy stanowiska pracy niezbędne do jej wykonania). Niefizjologiczne pozycje robocze są bezpośrednio spowodowane przez:

- Układ stanowiska pracy (dostarczanie i usuwanie materiału).
- Rozmieszczenie elementów stanowiska pracy.
- Normy pracy.
- Sposób pracy pracownika i jego nawyki.

## 5. Wnioski

- Podczas badań stwierdzono, że system CEIT w roli systemu oceny postury pracownika, jest przydatny. Jednakowoż, przeprowadzanie badań może być problematyczne z uwagi na duże wymagania przestrzenne ich wykonania. Dzieje się to głównie z uwagi na to, że w niektórych przypadkach badający musi oddalić się na odległość nawet 4 metrów od badanego stanowiska. Dodatkowo, sam model AR często zachowuje się w sposób chaotyczny (wykonuje samoistne drgania, traci przywiązanie do markera, itd.) co w znacznym stopniu utrudnia przeprowadzenie pomiaru.
- Pozycja trzeciej osoby, za pomocą której dokonywane są pomiary pozwala na uchwycenie momentów, gdy pracownik wykracza poza zieloną strefę, nawet jeśli jest to tylko na krótką chwilę. Dodatkowo, fakt ten umożliwia na większą precyzję pomiaru niż w metodzie RULA, z uwagi na obecność modelu AR pokazującego wartości katowe.
- Prezentowane w pracy wyniki odzwierciedlają rzeczywiste warunki pracy pracownika, co daje pracodawcy pełniejsze informacje co do obciążenia stanowiskowego i podwyższa standardy bezpieczeństwa pracy.
- Ocena za pomocą obu metod doprowadza do zbieżnych wniosków – stanowisko i postura pracy są nieodpowiednie i wymagana jest poprawa warunków pracy.
- W przypadku oceny metodą RULA wynik otrzymany po analizie wyniósł powyżej 7 punktów co powoduje wdrożenie działań korygujących. Natomiast, z punktu widzenia oceny przy pomocy systemu CEIT i w świetle zaproponowanych norm sytuacja na stanowisku powinna podlegać korekcie.
- Przedstawiony sposób zastosowania obu metod umożliwia poszerzenie zakresu badań o całe przedsiębiorstwo i wykorzystanie jej do analizy warunków pracy na innych stanowiskach.
- Tematyka związana z ergonomią stanowiska pracy, włączając w to: ergonomię stanowiska pracy sprawia, że wykonywana praca staje się bardziej wydajna, bezpieczna a także w znacznym stopniu może zmniejszać obciążenia wynikające, z przyjmowania obciążających postaw podczas pracy przez pracownika.

## Bibliografia

1. [http://nop.ciop.pl/m1-1/m1-1\\_6.htm](http://nop.ciop.pl/m1-1/m1-1_6.htm), data dostępu 20.09.2024
2. Filipkowski S., Ergonomia przemysłowa. Zarys problematyki. WNT, Warszawa 1970, s. 6.
3. Górka E., Tytyk E., Ergonomia w projektowaniu stanowisk pracy. Podstawy teoretyczne. Politechnika Warszawska, Warszawa 1998, s.14-15.
4. [http://nop.ciop.pl/m1-1/m1-1\\_5.htm](http://nop.ciop.pl/m1-1/m1-1_5.htm), data dostępu 20.09.2024.
5. Konarska, M., „Bezpieczeństwo Pracy - Nauka i Praktyka” 1/2007 str. 6-9
6. Occupational safety and health in Europe: state and trends 2023 – Summary, str. 10 - 19
7. Eurostat 2019: Average number of usual weekly hours of work in main job, by sex, professional status, full-time/part time and economic activity (from 2008 onwards, NACE Rev.2)
8. Górka E., „Ergonomia” Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002, str.293-294.
9. Knapik S., Ergonomia i ochrona pracy. Skrypty uczelniane. AGH, Kraków 1996, s. 12 - 13.
10. Górka E., Ergonomia, Politechnika Warszawska 2004, str. 19
11. Pacholski L., Ergonomia., Politechnika Poznańska, Poznań 1986, s. 97 - 100.
12. Bugajska J., „Ocena obciążenia pracą fizyczną dynamiczną na stanowisku pracy”. W: Nauka o pracy – bezpieczeństwo, higiena, ergonomia. pod red. nauk. Koradeckiej D., CIOP, Warszawa 2000, z. 4, s. 65.
13. Jaworski J., „Laboratorium ergonomii – przewodnik do ćwiczeń”. Olsztyn 2008, s. 20 - 21.
14. Górka E., „Ergonomia: projektowanie, diagnoza, eksperymenty”. Oficyna Wydawnicza Politechniki
15. Wróblewska M., Ergonomia. Skrypt dla studentów. Politechnika Opolska, Opole 2004, s. 189.
16. Wróblewska M., Ergonomia. Skrypt dla studentów. Politechnika Opolska, Opole 2004, s.191.

17. Kirschner H., Koszt fizjologiczny i energetyczny pracy fizycznej - statycznej: pojęcia, metody oceny, optymalizacja obciążeń. W: Nauka o pracy – bezpieczeństwo, higiena, ergonomia. pod red. nauk. Koradeckiej D., CIOP, Warszawa 2000, z. 4, s. 90.
18. <https://nop.ciop.pl>, , 20.04.2024
19. [http://www.ergonomia.agh.edu.pl/Skrypt\\_Ergonomia-M.Wykowska/ergonomia/nr\\_9.htm](http://www.ergonomia.agh.edu.pl/Skrypt_Ergonomia-M.Wykowska/ergonomia/nr_9.htm), 20.09.2024
20. [http://www.ergonomia.agh.edu.pl/Skrypt\\_Ergonomia-M.Wykowska/ergonomia/nr\\_9.htm#9b](http://www.ergonomia.agh.edu.pl/Skrypt_Ergonomia-M.Wykowska/ergonomia/nr_9.htm#9b), 20.09.2024
21. [http://www.ergonomia.agh.edu.pl/Skrypt\\_Ergonomia-M.Wykowska/ergonomia/nr\\_9.htm#9e](http://www.ergonomia.agh.edu.pl/Skrypt_Ergonomia-M.Wykowska/ergonomia/nr_9.htm#9e), 20.09.2024
22. [http://www.ergonomia.agh.edu.pl/Skrypt\\_Ergonomia-M.Wykowska/ergonomia/nr\\_9.htm#9f](http://www.ergonomia.agh.edu.pl/Skrypt_Ergonomia-M.Wykowska/ergonomia/nr_9.htm#9f), 20.09.2024
23. [https://ergonomia-wfp.asp.krakow.pl/wp-content/uploads/2019/12/10\\_polska-norma-pn-90.pdf](https://ergonomia-wfp.asp.krakow.pl/wp-content/uploads/2019/12/10_polska-norma-pn-90.pdf), 20.09.2024
24. <http://www.bhp.abc.com.pl/czytaj/-/artykul/obciazenia-psychofizyczne-na-stanowisku-pracy>, 20.09.2024.
25. Olszewski J.: Podstawy ergonomii i fizjologii pracy. Akademia Ekonomiczna w Poznaniu, Poznań 1997, s. 113.
26. PN-91/N-08003 Dane ergonomiczne do projektowania: Przestrzeń dla ręki obejmującej uchwyt: Wymiary
27. <https://atlas.ciop.pl/?kategoria=Biomechanika>, 20.09.2024
28. Wolański N.: Antropometria Inżynierska kształt i wymiary ciała a wzornictwo przemysłowe. Wydawnictwo „Książka i Wiedza”, Warszawa 1975, s. 15-16.
29. <https://bhp.bhpex.pl/ryzyko-zawodowe-metoda-rula>, 20.09.2024.
30. [https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?\\_nfpb=true&\\_pageLabel=P620059861340178661073&html\\_tresc\\_root\\_id=300012898&html\\_tresc\\_id=300012923&html\\_klucz=32274&html\\_klucz\\_spis=](https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?_nfpb=true&_pageLabel=P620059861340178661073&html_tresc_root_id=300012898&html_tresc_id=300012923&html_klucz=32274&html_klucz_spis=), 20.09.2024.
31. [http://www.zeszyty.fem.put.poznan.pl/numery/ZN\\_OiZ\\_PP\\_61\\_03.pdf](http://www.zeszyty.fem.put.poznan.pl/numery/ZN_OiZ_PP_61_03.pdf), 20.09.2024.
32. McAtamney L., Corlett N., RULA: a survey method for the investigation of work- related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 1993, pp. 91 – 99.
33. <https://bhp.bhpex.pl/ryzyko-zawodowe-metoda-rula>, 20.09.2024.
34. <https://www.rula.co.uk/index.html>, 20.09.2024
35. CERA Application Manual, 20.09.2024, tłumaczenie własne