



# OCENA RYZYKA ERGONOMICZNEGO Z ZASTOSOWANIEM KOMPUTEROWEGO MODELOWANIA I SYMULACJI – STUDIUM PRZYPADKU

Andrzej Marek Lasota

University of Zielona Góra, Institute of Mechanical Engineering, Poland

**Corresponding author:**

Andrzej Marek Lasota

University of Zielona Góra

Institute of Mechanical Engineering

Prof. Z. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra, Poland

phone: (+48) 683 282 514

e-mail: A.Lasota@iim.uz.zgora.pl

---

## ERGONOMIC RISK ASSESSMENT USING COMPUTER MODELING AND SIMULATION – A CASE STUDY

### ABSTRACT

In manufacturing environments, health and safety in the workplace is very important for all employees to work efficiently and productively. Ergonomic risk factors can have a negative impact on workers when performing their tasks at work. And generate costs for enterprises due to sickness absence, reduced quality. Therefore, ergonomic assessments of workstations should be widely used. The paper presents an ergonomic risk assessment using computer modeling and simulation based on a palletizing station as a case study. The palletizing station was modeled in a virtual environment using DHM Process Simulate Human. The DHM was used to perform an ergonomic assessment of the worker's posture using the RULA method. The Picking activity was qualified to action category 3, while Placing on a pallet – to the fourth action category. The Ishikawa diagram was used to diagnose the causes of ergonomic risk to musculoskeletal disorders, which allowed for the formulation of recommendations. Recommendations relating to changes in the layout of the workplace were applied in DHM. The ergonomic assessment of the operator working postures after the ergonomic intervention showed an ergonomic risk reduction. The Picking and Placing on the pallet activities were classified to action category 2.

### KEYWORDS

Ergonomics, fishbone diagram, risk evaluation, DHM.

---

## 1. Wstęp

W przemyśle nieustannie dąży się do konkurencyjności na rynku, wytwarzania dóbr biorąc pod uwagę jakość i produktywność. Jednocześnie ważne jest, aby oferować pracownikom zrównoważone życie zawodowe. W środowiskach pracy zdrowie i bezpieczeństwo w miejscu pracy są bardzo ważne dla wszystkich pracowników, aby zapewnić wydajną pracę i produktywność [7]. Ergonomiczne czynniki ryzyka mogą mieć negatywny wpływ na pracowników podczas wykonywania przez nich zadań roboczych [13].

Ergonomia/Czynnik ludzki jako dyscyplina naukowa, koncentrująca się na optymalizacji dobrostanu i wydajności systemu. Ma swój wkład w projektowanie i ocenę: zadań, stanowisk pracy, produktów, środowiska pracy i systemów organizacji, tak aby były one zgodne z potrzebami, możliwościami i ograniczeniami pracowników [5, 14]. Stąd ergonomia może zwiększyć oszczędności i produktywność, zmniejszyć urazy pracowników, podnieść zaangażowanie w pracy i zmniejszyć absencję. Niska ergonomiczność, ergonomiczne czynniki ryzyka obejmujące pozycję operatora podczas pracy, za-

kres ruchów, stosowaną siłę, powtarzalność oraz czas trwania ruchów roboczych mogą prowadzić do zaburzeń mięśniowo-szkieletowych (ZMSz) u operatorów [1, 4]. Dlatego niski poziom jakości ergonomicznej może wywierać negatywny wpływ na pracowników oraz ograniczać rozwój przedsiębiorstwa. Negatywne skutki u pracowników objawiają się w postaci ZMSz, zmęczenia, bólu, chorób, niskiej wydajności. Natomiast w zakładzie pracy obejmują absencję, wyższe koszty oraz większą rotację i szkolenia pracowników. Dla przykładu w Polsce w 2020 roku choroby układu mięśniowo-szkieletowego były drugą najczęściej występującą przyczyną absencji chorobowej pracowników i stanowiły 16,1% wszystkich nieobecności w pracy. Spowodowało to utratę 41336,7 tysięcy dni z powodu zwolnień lekarskich [16], co jest dużym obciążeniem finansowym. Z kolei w Unii Europejskiej koszty wszystkich nieobecności z powodu ZMSz oszacowano na 2,1% do 3,1% produktu krajowego brutto UE [12].

Stąd istotne jest stosowanie ocen i analiz ergonomicznych w celu identyfikacji poziomu ryzyka oraz poziomu działań w postaci interwencji ergonomicznej [9]. Jednakże jednym z elementów efektywności ergono-

micznej jest diagnostyka ergonomiczna. Celem diagnostyki jest znalezienie przyczyn pierwotnych nieprawidłowości, które powodują ryzyko ergonomiczne wyższe od minimalnego. W poszukiwaniu przyczyn nieprawidłowości, identyfikacji zagrożeń ergonomicznych w miejscu pracy może być pomocny diagram przyczynowo-skutkowy Ishikawy [8]. Z drugiej strony bardziej zaawansowane narzędzia ergonomiczne, takie jak cyfrowe modele człowieka (CMCz) i narzędzia symulacyjne ułatwiają proaktywne badania ergonomiczne. Technologia CMCz pozwala na wczesną i łatwiejszą identyfikację problemów ergonomicznych oraz zmniejsza lub czasami eliminuje potrzebę fizycznych i rzeczywistych testów z udziałem operatora. Technika CMCz została opracowana w celu ułatwienia projektowania ergonomicznego, oceny oraz diagnozy. Umożliwia wizualizację 3D pracownika zaangażowanego w wykonywanie zadania/czynności roboczych. W programach istnieje szereg funkcji, które obejmują m.in. poruszanie ludzkim manekinem, analizę ergonomiczną, analizę zasięgu, oraz możliwość skalowania manekina 3D na podstawie dostępnych danych antropometrycznych [2]. Przykładami dostępnymi na rynku pakietów oprogramowania CMCz są JACK (*Process Simulate Human*), RAMSIS, DELMIA, SANTOS oraz SAMMIE [6]. Technologie CMCz jako narzędzie do analizy ergonomicznej składają się z wirtualnego środowiska do symulacji pozycji ciała i oszacowania ryzyka urazów związanych z ZMSz podczas wykonywania typowych obowiązków zawodowych, co do których podejrzewa się, że wywołują dyskomfort. Symulacja procesu pracy pomaga użytkownikom końcowym przeprojektować stanowiska pracy i ich otoczenie w celu zmniejszenia potencjalnych zagrożeń i wyeliminowania niewygodnych pozycji i ruchów [2].

W artykule przedstawiono ocenę/diagnozę ergonomiczną z zastosowaniem CMCz, diagramu przyczynowo-skutkowego w oparciu o studium przypadku – paletowania gotowych wyrobów umieszczonych w kartonach.

## 2. Materiały i metody

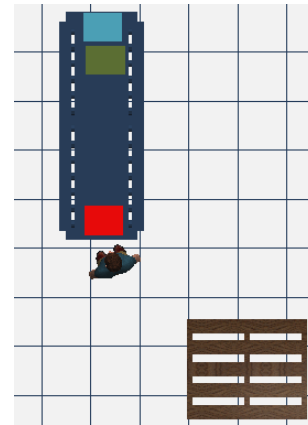
### 2.1. Oceniane stanowisko pracy, zadanie

Ocenie ergonomicznej poddano typowe stanowisko paletowania (rys. 1).

W skład stanowiska wchodzi taśmociąg, po którym transportowane są gotowe wyroby zapakowane w kartony oraz paletę umieszczoną na posadzce. Operator pobiera kartony z taśmociągu i następnie odkłada na paletę.

### 2.2. Diagram przyczynowo-skutkowy Ishikawy

Diagram Ishikawy, zwany diagramem „rybiej ości” ze względu na swój kształt i budowę lub przyczynowo-skutkowym, wykorzystywany jest do wyodrębnienia obserwowanego skutku – jako rezultat wszystkich ustaleń w procesie badawczym przyczyn. Diagram może



Rys. 1. Stanowisko paletowania

być stosowany do analizy różnych typów niezgodności i wskazania źródła ich powstania [10]. Diagram Ishikawy często obejmuje sześć głównych obszarów [3, 8, 15]:

- 1) Człowiek: analiza wymaga rozpatrywania umiejętności i kwalifikacji, przyzwyczajzeń, doświadczenia zawodowego, poziomu zadowolenia i motywacji;
- 2) Metoda: obejmuje wszystkie procedury i instrukcje, z pomocą których realizowane jest zadanie, metoda pracy;
- 3) Maszyny i wyposażenie: ocenie poddawane są eksploatowane maszyny i urządzenia, ich nowoczesność, wydajność, bezpieczeństwo, świadectwa i certyfikaty;
- 4) Materiały: czynnik, w ramach którego analizie podlega prowadzona usługa i zrealizowane zadania, grupa przyczyn wynikających z problemami z surowcami, materiałami oraz półfabrykatami służącymi do produkcji danego dobra lub świadczenia usługi;
- 5) Zarządzanie: czynnik związany z organizacją oraz warunkami pracy w przedsiębiorstwie, w którym wystąpił badany problem. Analizie podlegają np. struktura organizacyjna, kultura organizacji, zmienność pracy;
- 6) Środowisko (otoczenie): przyczyny z otoczenia – środowiska pracy, czynnik ujmujący wpływ i oddziaływanie zewnętrznych i wewnętrznych uwarunkowań, determinujących możliwość realizacji procesu.

### 2.3. Metoda RULA

Metoda RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*) umożliwia szybką ocenę narażenia kończyn górnych na ryzyko ZMSz u pracowników [11]. Metoda pozwala na identyfikację ergonomicznych czynników ryzyka powiązanych z pozycją ciała podczas pracy, wywieraniem sił, zaangażowaniem grup mięśniowych, z uwzględnieniem obciążenia o charakterze powtarzalnym bądź statycznym. Ocena z zastosowaniem metody RULA składa się z trzech głównych etapów: ocena pozycji ciała podczas pracy, zastosowanie systemu oceny, ocena ryzyka.

Po dokonaniu oceny końcowej RULA otrzymujemy punktowy wynik końcowy w zakresie od 1 do 7, który został sklasyfikowany w cztery kategorie działań (KD) przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1  
RULA: klasyfikacja ryzyka, kategorii i poziomów działań.

Wynik RULA	Kategorie działań	Ryzyko	Poziom działania
1-2	1	Małe	Pozycja akceptowalna.
3-4	2	Średnie	Konieczne jest przeprowadzenie dokładniejszych badań, zmiany mogą być konieczne.
5-6	3	Wysokie	Konieczne jest szybkie przeprowadzenie dokładniejszych badań i wprowadzenie zmian wkrótce.
7	4	Bardzo wysokie	Konieczne są natychmiastowe szczegółowe badania i zmiany.

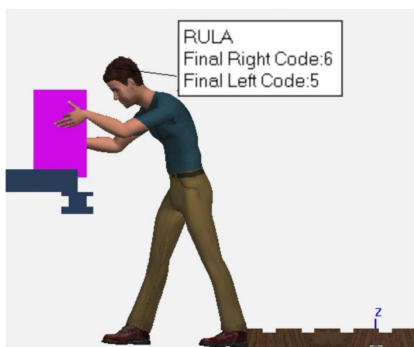
## 2.4. Cyfrowy model człowieka

Zastosowano program komputerowy *Process Simulate Human – Jack Tecnomatix Siemens*, który umożliwia stworzenie cyfrowego modelu stanowiska pracy oraz operatora (rys. 1) umożliwiając symulację pozycji podczas pracy i ocenę ergonomiczną metodą RULA.

## 3. Wyniki i omówienie

W trakcie realizacji zadania paletowania operator wykonuje cztery główne czynności: pobranie kartonu z taśmociągu, transport ręczny kartonu do palety, odłożenie kartonu na paletę oraz powrót do taśmociągu.

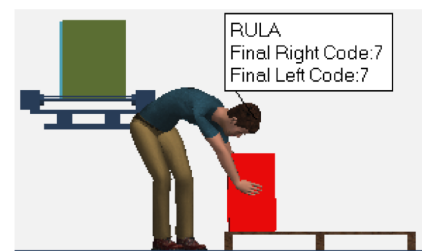
Nieprawidłowe i szkodliwe pozycje, a tym samym o potencjalnie wysokim ryzyku ergonomicznym operator przyjmował podczas pobierania kartonu z taśmociągu oraz odkładania kartonu na paletę (rys. 2).



Rys. 2. Ocena pozycji operatora – pobranie z taśmociągu.

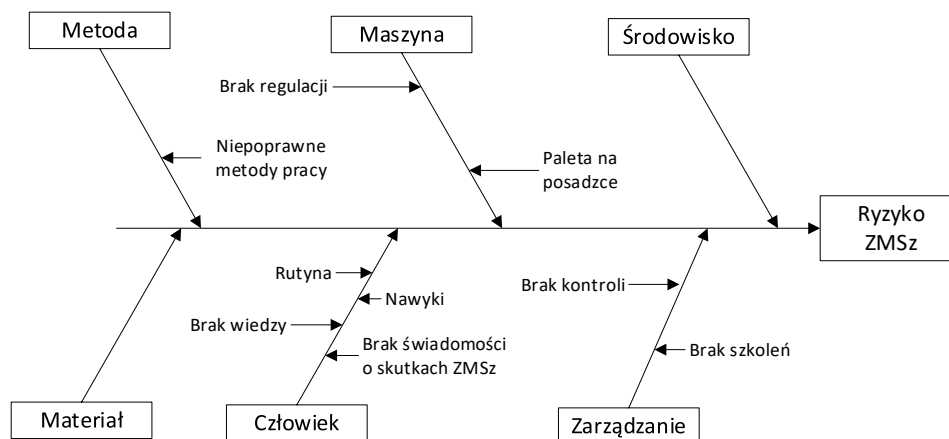
Wynik RULA dla czynności pobranie (rys. 2), prawej kończyny górnej wyniósł 6, natomiast dla lewej – 5. Otrzymane wyniki wiążą się z dużym ryzykiem wystąpienia ZMSz i klasyfikują czynność pobrania do KD 3, która wymaga dalszych badań i przeprowadzenia korekty ergonomicznej.

W przypadku czynności odłożenie wynik RULA dla obu kończyn górnych jest bardzo wysoki i równy 7 (rys. 3), co wskazuje na bardzo wysoki poziom narażenia na ZMSz. Czynność zakwalifikowano do KD 4, która wymaga dalszych badań i natychmiastowej korekty ergonomicznej.



Rys. 3. Ocena pozycji operatora – umieszczenie kartonu na paletę.

Do diagnozy potencjalnych przyczyn dużego i bardzo dużego poziomu ryzyka (KD 3 i KD 4) posłużono się diagramem Ishikawy. W pierwszej kolejności zbadano grupy: zarządzanie, człowiek, materiał, metoda, maszyna, środowisko (otoczenie). W następnym kroku określono przyczyny dla każdej grupy (rys. 4).



Rys. 4. Diagram przyczynowo-skutkowy dla problemu związanego z ryzykiem ZMSz.

Po przeprowadzeniu analizy dla badanego przypadku stwierdzono, że czynniki wpływające na ryzyko ZMSz znajduje się w grupach: zarządzanie, człowiek, metoda, maszyna. Najwięcej czynników wystąpiło w grupach: człowiek, maszyna, zarządzanie. Biorąc pod uwagę grupę człowiek, pojawienie się znacznego ryzyka ZMSz mogły powodować: rutyna w wykonywaniu pracy oparta o wieloletnie nawyki odnoszące się do niepoprawnej pozycji ciała, brak minimalnej wiedzy z ergonomii o prawidłowych pozycjach podczas pracy oraz skutkach zdrowotnych ZMSz. W kolejnej grupie zarządzanie przyczyn upatruje się w braku specjalistycznych szkoleń dotyczących ergonomii stanowiska pracy oraz nadzoru i kontroli sposobu wykonywania zadania przez operatora. Natomiast w przypadku grupy maszyna potencjalną przyczyną jest paleta leżąca na posadzce oraz brak regulacji wysokości położenia palety. Z kolei w ostatniej grupie metoda zidentyfikowano niepoprawne metody wykonywania pracy.

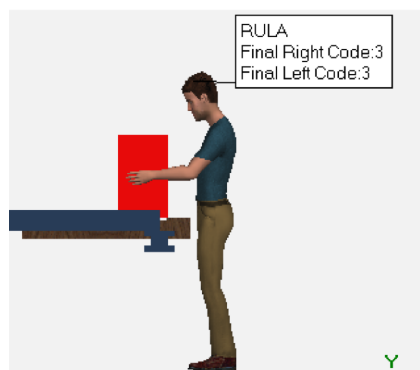
W oparciu o zdiagnozowane przyczyny sformułowano rekomendacje związane z interwencją ergonomiczną:

- przeprowadzić szkolenie dotyczące podstaw ergonomii na stanowisku pracy, w tym przyczyn oraz wpływu i skutków ZMSz na organizm ludzki, sposobu wykonywania pracy oraz prawidłowych pozycji ciała podczas realizacji zadań roboczych,
- opracować plan nadzoru i okresowych kontroli stanowiska pracy,
- paletę przenieść bliżej taśmociągu, co skróci czas i drogę przemieszczaną przez operatora,
- paletę umieścić na regulowanych podwyższeniu w celu dostosowania wysokości płaszczyzny roboczej do operatora.

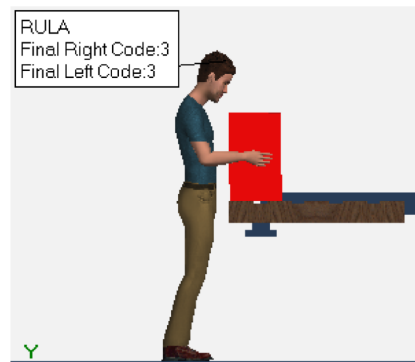
Rekomendacje zaimplementowano w środowisku CMCz i ponownie dokonano oceny ergonomicznej dwóch głównych czynności z dużym i bardzo dużym ryzykiem ZMSz (rys. 5 i 6).

W przypadku pobrania kartonu z taśmociągu dla obu kończyn uzyskano wynik RULA równy 3 (rys. 5), co klasyfikuje czynność do KD 2, która wymaga dalszych badań a zmiany na stanowisku mogą być konieczne.

Ocena pozycji ciała operatora dotycząca czynności odkładania kartonu na paletę (rys. 6) była identyczna jak przy pobraniu.



Rys. 5. Ocena pozycji operatora po korekcie ergonomicznej – pobranie z taśmociągu.



Rys. 6. Ocena pozycji operatora po korekcie ergonomicznej – umieszczenie kartonu na palecie.

Wynik RULA dla obu kończyn górnych wynosił 3, KD 2 wymagająca dokładniejszych badań i rozważenia dalszych zmian na stanowisku pracy.

#### 4. Wnioski

W artykule przedstawiono ocenę/diagnozę ergonomiczną z zastosowaniem CMCz – Jack, w oparciu o stanowisko paletowania gotowych wyrobów. Do oceny pozycji ciała operatora zastosowano metodę RULA. Wyniki oceny pozycji operatora podczas pobierania oraz odkładania kartonu na paletę wskazują odpowiednio na wysokie oraz bardzo wysokie narażenie operatora na wystąpienie ZMSz. Stąd interwencja ergonomiczna jest wymagana wkrótce oraz natychmiast – odpowiednio dla powyższych czynności.

Zastosowanie diagramu Ishikawy do diagnozy przyczyn ryzyka ZMSz wykazało jego skuteczność, wspomogło opracowanie rekomendacji dla interwencji ergonomicznej na ocenianym stanowisku. Wdrożenie rekomendacji w wirtualnym środowisku CMCz – Jack i ponowna ocena pozycji ciała operatora zweryfikowały zaproponowane zmiany. W przypadku obu czynności: pobrania i odłożenia kartonu ryzyko ZMSz obniżono do poziomu średniego, a poziomu działania do KD 2.

Przedstawione studium przypadku zawiera pewne ograniczenia. Nie uwzględniono w nim operatorów płci żeńskiej oraz zmienności cech antropometrycznych operatorów. W przyszłych badaniach należy uwzględnić przedstawione ograniczenia oraz zmienność ciężaru i wymiarów gabarytowych paletowanych produktów.

Podsumowując, pomimo przedstawionych ograniczeń zastosowanie Cyfrowego Modelu Człowieka w ocenie ryzyka ZMSz pozwala użytkownikom na optymalizację projektów (przeprojektowania) stanowisk roboczych, w których symulowane są pozycje pracy operatora. Podejście ergonomiczne zilustrowane w studium przypadku jest dobrym przykładem wizji i celów Przemysłu 5.0.

#### Literatura

- [1] Bernard B.P., Putz-Anderson V., *Musculoskeletal disorders and workplace factors; a critical review of epi-*

- demologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back*, U.S. Department of health and human services, Columbia Parkway, 1997.
- [2] Grobelny J., Michalski R., *Preventing work-related musculoskeletal disorders in manufacturing by digital human modeling*, Int. J. Environ. Res. Public Health, 17, 22, 8676, 2020.
- [3] Hamrol A., *Zarządzanie jakością z przykładami*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
- [4] Haynes S., Williams K., *Impact of seating posture on user comfort and typing performance for people with chronic low back pain*, International Journal of Industrial Ergonomics 38, 35–46, 2008.
- [5] IEA (International Ergonomics Association), <https://iea.cc/about/what-is-ergonomics/>.
- [6] Ji X., Piovesan D., Arenas M., Liu H., *Analysis of healthcare push and pull task via JACK: Predicted joint accuracy during full-body simulation*, Applied Sciences, 12, 13, 6450, 2022.
- [7] Kar G., Hedge A., *Effect of workstation configuration on musculoskeletal discomfort, productivity, postural risks, and perceived fatigue in a sit-stand-walk intervention for computer-based work*, Applied Ergonomics, 90, 103211, 2021.
- [8] Knosala R., *Inżynieria produkcji. Kompendium wiedzy*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2017.
- [9] Lasota A.M., *Analiza obciążenia pracą metodą OWAS*, Zarządzanie Przedsiębiorstwem, 16, 3, 35–39, 2013.
- [10] Mazur A., Golaś H., *Zasady, metody i techniki wykorzystywane w zarządzaniu jakością*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2010.
- [11] McAtamney L., Corlett E.N., *RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders*, Applied Ergonomics, 24, 2, 91–99, 1993.
- [12] Schneider E., Irastorza X.B., Copsey S., *OSH in figures: Work-related musculoskeletal disorders in the EU-Facts and figures*, Office for Official Publications of the European Communities, 2010.
- [13] Taibi Y., Metzler Y.A., Bellingrath S., Müller A., *A systematic overview on the risk effects of psychosocial work characteristics on musculoskeletal disorders, absenteeism, and workplace accidents*, Applied Ergonomics, 95, 103434, 2021.
- [14] Tytyk E., *Projektowanie ergonomiczne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2001.
- [15] Wolniak R., Skotnicka B., *Metody i narzędzia zarządzania jakością. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2005.
- [16] ZUS, *Absencja chorobowa w 2020 roku*, Zakład Ubezpieczeń Społecznych, Warszawa, 2021.