

Ergonomiczna analiza paletowania w oparciu o cyfrowe modelowanie człowieka

Data wpłynięcia do Redakcji: 01/2024
Data akceptacji przez Redakcję do publikacji: 02/2024

2024, volume 13, issue 1, pp. 1-8

Andrzej Marek Lasota
Uniwersytet Zielonogórski, Poland
ORCID: 0000-0002-7597-4032



Streszczenie: Wiele towarów jest pakowanych i wysyłanych do odbiorców na paletach. W małych i średnich przedsiębiorstwach operacje ręcznego paletowania nadal są powszechnie zarówno w dystrybucji, jak i w przemyśle produkcyjnym. Wiążą się one z potencjalnymi problemami związanymi ze słabą ergonomią postawy, ryzykiem zaburzeń mięśniowo-szkieletowych. W artykule przedstawiono ergonomiczną analizę paletowania. W badaniu zastosowano modelowanie i symulację. Przeprowadzona analiza pokazała, że można osiągnąć znaczne korzyści w zakresie czasu paletowania, zmniejszenia obciążenia pracą fizyczną i ryzyka zaburzeń mięśniowo-szkieletowych. Praktycy powinni wziąć pod uwagę wyniki artykułu, w którym korzyści wynikające z odpowiedniego ustawienia wysokości płaszczyzny pracy mogą zapewnić lepszą wydajność i obniżyć ryzyko ergonomiczne.

Słowa kluczowe: ergonomia, ryzyko, OWAS, Cyfrowe Modelowanie Człowieka

WPROWADZENIE

Wiele produkowanych towarów jest pakowanych i wysyłanych do odbiorców na paletach. Oprócz pojemników masowych używane są małe pojemniki czy też kartony. Małe kartony zwykle są ręcznie ładowane na palety przez pracowników. Ładowanie kartonów na palety zostało w części zautomatyzowane, jednakże w szeregu małych i średnich przedsiębiorstwach jest ono nadal powszechne. Ręczne przemieszczanie materiałów cechuje duża powtarzalność czynności, pochylanie i skręcanie pleców oraz przeciążanie odcinka lędźwiowego kręgosłupa (Dempsey i Hashemi, 1999) (Lasota, 2014). Ręczne przemieszczanie materiałów przyczynia się do rozwoju zaburzeń układu mięśniowo-szkieletowego w związku z wykonywaną pracą (ZMSz). Ergonomia może zmniejszyć urazy pracowników, podnieść zaangażowanie w pracy i zmniejszyć absencję oraz zwiększyć oszczędności i produktywność. Niski poziom jakości ergonomicznej może wywierać negatywny wpływ na pracowników oraz ograniczać rozwój przedsiębiorstwa. Negatywne skutki u pracowników objawiają się w postaci zmęczenia, bólu, chorób oraz niskiej wydajności. Natomiast w zakładzie pracy obejmują absencję, wyższe koszty oraz zwiększoną 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 41,3 milionów dni z powodu zwolnień lekarskich (Absencja chorobowa w 2020 roku, 2021), co stanowi duże obciążenie finansowe. Natomiast w Unii Europejskiej koszty wszystkich nieobecności z powodu ZMSz oszacowano na 2,1% do 3,1% produktu krajowego brutto UE (European Agency for Safety and Health at Work, 2010). Stąd istotne jest stosowanie ocen i analiz ergonomicznych, identyfikacja poziomu ryzyka oraz poziomu działań w celu korekty ergonomicznej stanowisk pracy (Lasota & Hankiewicz, 2017).

Oceny stanowisk pracy powszechnie przeprowadzane są przez ergonomistów technikami obserwacyjnymi z wykorzystaniem list kontrolnych i arkuszy ocen (Lasota, 2023a). Stosują oni przy tym metody takie jak OWAS, RULA, REBA, QEC, etc. (David, 2005). Jednakże takie badania są czasochłonne i w pewnym zakresie wynik zależy od subiektywnej oceny eksperta. Z drugiej strony bardziej zaawansowane narzędzia ergonomiczne, takie jak Cyfrowe Modelowanie Człowieka (CMCz) i narzędzia symulacyjne ułatwiają proaktywne badania ergonomiczne (Lasota, 2023b). Technologia CMCz pozwala na wczesną i łatwiejszą identyfikację problemów ergonomicznych oraz zmniejsza lub czasami eliminuje potrzebę fizycznych i rzeczywistych testów z udziałem operatora. Symulacja procesu pracy pomaga użytkownikom końcowym przeprojektować stanowiska pracy i ich otoczenie w celu zmniejszenia potencjalnych zagrożeń, wyeliminowania niewygodnych i szkodliwych dla zdrowia pozycji operatorów (Grobekny & Michalski, 2020).

Zaobserwowano podczas wizyt w zakładach pracy, że w wielu przypadkach produkty zapakowane w kartony były dostarczane za pomocą podajnika taśmowego. Natomiast pracownicy ręcznie układali je na paletach. Dlatego też, czy to na stanowiskach pakowania, czy w obszarach przepakowania, ręczne paletowanie powoduje, że operatorzy muszą sięgać, zginać się, skręcać się i obciążać plecy, szyję, dłonie i ramiona. W literaturze naukowej dużą uwagę poświęcono zagadnieniu strategii paletowania oraz różnic obciążeń biomechanicznych w różnych grupach zatrudnionych (Lamooki i in., 2022; Lavender i in., 2013; Marcotte i in., 2023; Plamondon i in., 2014, 2017) pomijając zagadnienie czasu wykonywania operacji przez pracownika. Wydaje się, że w przypadku ręcznego paletowania zarówno czasochłonność, jak i obciążenie posturalne będą się różnić w zależności od wysokości położenia pojemników na palecie. Różnice w zużyciu czasu mogą skutkować stratami czasu. Różnice w obciążeniu fizycznym mogą skutkować przeciążeniami i nadmiernym ryzykiem ZMSz.

Aby przeanalizować zagadnienie paletowania w badaniu zastosowano symulację i modelowanie w oparciu o CMCz z wykorzystaniem metody OWAS.

MATERIAŁY I METODY

Symulacja

Projekt symulacji stanowiska paletowania (rys.1) zawierał taśmociąg transportujący pojemniki oraz paletę umieszczoną na posadzce. Wysokość taśmociągu – 90cm. Paleta Euro o wymiarach 1200x800x144 mm. Pojemniki o wymiarach 600 X 400 x 250mm (długość x szerokość x wysokość). Masa pojemnika 27kg. W jednej warstwie umieszczane były 4 pojemniki. Symulowano paletowanie 4 warstw. Paletę umieszczono w odległości 1,5m od końca taśmociągu. W symulacji zastosowano model antropometryczny męskiego manekina centyl 95 (C95M). Manekin układał pojemniki warstwa po warstwie.



Rys. 1 Stanowisko paletowania

Metoda OWAS

Metoda Ovako Working posture Analyzing System (OWAS) została opracowana przez fińskich badaczy (Karhu i in., 1977). Wspiera ona ocenę narażenia na ryzyko wystąpienia ZMSz związane z przyjmowaną pozycją ciała operatora podczas wykonywania pracy. Metoda kompleksowo ujmuje zagadnienie opierając się na technice obserwacji pracownika podczas realizacji zadań roboczych. W metodzie OWAS sklasyfikowano 84 podstawowe pozycje ciała przyjmowane przez pracownika podczas wykonywania pracy. Uwzględnia ona następujące segmenty ciała: tułów (plecy), ramiona, nogi. Ponadto bierze pod uwagę obciążenie zewnętrzne w kilogramach co w powiązaniu z segmentami ciała daje w sumie 252 kombinacje. Każda z kombinacji tworzy unikalny czterocyfrowy kod OWAS. Podstawę oceny narażenia na ZMSz stanowi stopień łącznego obciążenia pozycją ciała z uwzględnieniem obciążenia zewnętrznego.

Tabela 1 Wyniki skuteczności urządzenia odbierającego zabrudzenia

Kategorie działań	Ryzyko	Poziomy działania
KD1	Małe	Pozycja akceptowalna, działania interwencyjne nie są wymagane.
KD2	Średnie	Interwencja nie jest wymagana, ale zmiany mogą być konieczne.
KD3	Wysokie	Interwencja ergonomiczna powinna być przeprowadzona wkrótce.
KD4	Bardzo wysokie	Interwencja ergonomiczna wymagana jest natychmiast.

Kombinacja czterocyfrowego kodu OWAS tworzy kategorie oceny opisujące ryzyko narażenia na ZMSz oraz kategorie działań (KD) niezbędne do

przeprowadzenia interwencji ergonomicznej na ocenianym miejscu pracy (tabela 1).

OWAS Indeks (OI) opisuje poziom ryzyka w całym cyklu czasowym biorąc pod uwagę czas przebywania operatora w danej kategorii ryzyka KD i wyraża się formułą (1):

$$OI = a \times 1 + b \times 2 + c \times 3 + d \times 4 \quad (1)$$

gdzie:

a – to procent czasu przebywania operatora (manekina) w KD1;

b , c i d – odnoszą się do odsetka czasu przebywania operatora (manekina) odpowiednio w KD2, KD3, KD4.

Należy zaznaczyć, że minimalna wartość OI wynosi 100, która odpowiada warunkom pracy pozbawionym ryzyka ergonomicznego. Natomiast maksymalna wartość OI wynosi 400 i odnosi się do warunków pracy obarczonych bardzo wysokim ryzykiem ZMSz. Ponadto uznano, że OI mniejszy od 200 w dalszym ciągu nie jest wartością krytyczną z ergonomicznego punktu widzenia (Louhevaara i Suurnäkki, 1992). Natomiast pozostałe wartości OI uznaje się za szkodliwe dla operatora i w takich przypadkach interwencja ergonomiczna musi być przeprowadzona wkrótce lub natychmiast.

Cyfrowe Modelowanie Człowieka

Zastosowano program komputerowy Process Simulate Human - Jack Tecnomatix Siemens, który umożliwia stworzenie cyfrowego modelu stanowiska pracy oraz operatora (rys.1) wspierając symulację zadań i ocenę ergonomiczną metodą OWAS.

WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań symulacyjnych dotyczące paletowania pojemników w kolejnych warstwach 1, 2, 3 i 4 oraz dla całego cyklu paletowania T_{cp} przedstawiono w Tabeli 2.

Tabela 2 Kategorie działań, OWAS Indeks i czas przebywania w kategorii KD dla poszczególnych warstw i całego cyklu paletowania

		KD1	KD2	KD3	KD4	Razem t [s]	OI
Warstwa 1	t_{w1} [s]	23,60	4,07	5,97	0	33,64	148
	t_{w1} [%]	70,2	12,1	17,7	0		
Warstwa 2	t_{w2} [s]	23,69	3,38	6,03	0	33,10	147
	t_{w2} [%]	71,6	10,2	18,2	0		
Warstwa 3	t_{w3} [s]	24,05	3,42	6,06	0	33,53	146
	t_{w3} [%]	71,7	10,2	18,1	0		
Warstwa 4	t_{w4} [s]	22,65	0,20	0	0	22,85	101
	t_{w4} [%]	99,1	0,9	0	0		
Pełna paleta	T_{cp} [s]	93,99	11,07	18,06	0	123,12	138
	T_{cp} [%]	76,3	9,0	14,7	0		

Oprócz wskaźników KD będących miarą ryzyka ZMSz związanych z pozycją manekina w tabelach prezentowano także czasy kompletacji warstw 1 – t_{W1} , 2 – t_{W2} , 3 – t_{W3} , 4 – t_{W4} , przez cyfrowy model człowieka. Zamieszczono również wyniki OWAS Indeks będący ogólną oceną procesu paletyzacji kolejnych warstw oraz całego cyklu paletowania T_{cp} .

W przypadku paletowania warstwy 1 nie wystąpiła KD4. Czas ułożenia warstwy 1 t_{W1} wynosił 33,64 sekundy. Najdłużej model przebywał w KD1: 70,2% t_{W1} . Z kolei w KD2 manekin przebywał 12,1% t_{W1} . Natomiast w KD3 – 17,7% t_{W1} . OWAS Indeks $W1$ osiągnął wartość 148.

Z kolei czas ułożenia warstwy 2 t_{W2} zajął modelowi człowieka 33,10 sekundy. Najdłużej model przebywał w KD1 – 71,6% t_{W2} . Natomiast w KD2: 10,2% t_{W2} . Z kolei KD3: 18,2% t_{W2} . Nie odnotowano przebywania manekina w KD4. OWAS Indeks $W2$ wyniósł 147.

Natomiast podczas paletowania warstwy 3 również nie wystąpiła KD4. Czas ułożenia warstwy t_{W3} wyniósł 33,53 sekundy. Najdłużej manekin przebywał w KD1: 71,7% t_{W3} . W KD2: 10,2% t_{W3} , w KD3: 18,1% t_{W3} . OWAS Indeks $W3$ wyniósł 146.

W przypadku paletowania 4 warstwy nie odnotowano KD3 i KD4. Czas ułożenia warstwy 4 t_{W4} zajął manekinowi 22,85 sekundy. Najdłużej model przebywał w KD1: 99,1% t_{W4} . W KD2 odnotowano jedynie 0,9% t_{W4} . OWAS Indeks $W4$ wyniósł 101.

W przypadku całego cyklu paletowania T_{cp} (ułożenia czterech warstw pojemników) nie wystąpiła KD4. Czas cyklu ułożenia jednej pełnej palety T_{cp} wyniósł 123,12 sekundy. Najdłużej model człowieka przebywał w KD1: 76,3% T_{cp} . W KD2: 9,0% T_{cp} , a w KD3 – 14,7% T_{cp} . O_{Icp} dla całego cyklu wyniósł 138.

Wyniki badania pokazują, że czas ułożenie przez model człowieka warstw 1, 2 oraz 3 był bardzo podobny – różnica pomiędzy czasami ułożenia wymienionych warstw była mniejsza od 1 sekundy. Jednakże w przypadku paletyzacji 4 warstwy odnotowano zdecydowanie skrócenie czasu paletowania o ok. 11 sekund i jest o niespełna 1/3 krótszy od czasów ułożenia poprzednich warstw (1, 2 oraz 3). Przyczyn tak znacznego skrócenia czasu paletyzacji upatruje się w fakcie, że wysokość, na którą manekin odkładał pojemnik wzrosła do ok. 90 cm. Taka wysokość płaszczyzny pracy nie wymaga od manekina uginania kończyn dolnych w stawach kolanowych oraz pochylania tułowia do przodu co skraca czas operacji odkładania pojemnika na paletę.

Natomiast wyniki analizy ryzyka OWAS w przypadku paletowania warstw 1, 2 oraz 3 pokazują, że manekin przebywał ok. 18% czasu ułożenia każdej z warstw w kategorii działań 3, która niesie wysokie ryzyko ZMSz. Szkodliwa pozycja manekina jest spowodowana zbyt niską wysokością płaszczyzny pracy. Sytuacja ta wymagała ugięcia kolan i mocnego pochylecia pleców do przodu. Stąd OWAS Indeks dla powyższych przypadków był bardzo podobny i jego wartość wynosiła ok. 147.

Z kolei w przypadku warstwy 4 odnotowano zdecydowaną poprawę ergonomii. W KD1 manekin przebywał ponad 99% czasu układania warstwy 4 i ok. 1% czasu w KD2. Stąd bardzo korzystny OI równy 101 świadczący o minimalnym ryzyku ZMSz. Przyczyn upatruje się w wyeliminowaniu uginania nóg w stawach kolanowych i pochylaniu się manekina. Jest to spowodowane podwyższeniem wysokości paletowania do ok. 90 cm, która nie wymusza przyjmowania szkodliwych pozycji przez manekina podczas operacji odłożenia pojemnika na paletę.

W pracy istnieją pewne ograniczenia, w badaniach zastosowano modelowanie i symulację. Sposób wykonywania zadań przez manekina może się różnić od sposobu wykonywania zadań przez operatorów w rzeczywistych warunkach pracy. Stąd badania w miejscu pracy lepiej odzwierciedlą zarówno zmienność czasu wykonywania zadań jak również wielkość obciążenia ergonomicznego. W badaniu zastosowano jeden model antropometryczny człowieka. Zastosowanie innych modeli człowieka może mieć wpływ na czas paletyzacji oraz wskaźniki ergonomiczne.

Przyszłe badania mogłyby rozszerzyć badania tego artykułu skupiając się użyciu szerszej gamy modeli zarówno płci męskiej oraz żeńskiej. Przeprowadzenie przyszłych badań w rzeczywistym środowisku pracy z użyciem systemów przechwytywania ruchów i CMCz umożliwiłoby pozyskanie realistycznych danych i zastosowania dogłębszej analizy z uwzględnieniem szerszej gamy wskaźników.

WNIOSKI

W artykule przedstawiono badanie symulacyjne dotyczące ręcznego paletowania. Wyniki pracy pokazały, że paletowanie warstw 1, 2 i 3 wymaga dłuższego czasu, wskaźniki ergonomii OWAS nie są zadowalające. W przeciwieństwie do paletowania warstwy 4, gdzie zdecydowanie czas paletowania uległ skróceniu a wskaźniki ergonomiczne OWAS uległy zdecydowanej poprawie i są bardzo korzystne.

Przedstawione wyniki pokazują, że modelowanie i symulacja są skutecznymi narzędziami. Ponadto można osiągnąć znaczne korzyści w zakresie czasu paletowania, a także obciążenia pracą fizyczną. Praktycy powinni wziąć pod uwagę wyniki artykułu, w którym korzyści wynikające z odpowiedniego ustawienia wysokości płaszczyzny pracy mogą zapewnić lepszą wydajność i obniżyć ryzyko ergonomiczne.

LITERATURA

- Absencja chorobowa w 2020 roku. (2021). ZUS.
- David, G. C. (2005). Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occupational medicine*, 55(3), pp. 190-199. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqi082>

- European Agency for Safety and Health at Work. (2010). OSH in figures: Work-related musculoskeletal disorders in the EU: facts and figures. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2802/10952>
- Grobelny, J., & Michalski, R. (2020). Preventing work-related musculoskeletal disorders in manufacturing by digital human modeling. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(22), 8676. <https://doi.org/10.3390/ijerph17228676>
- Karhu, O., Kansii, P., & Kuorinka, I. (1977). Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied Ergonomics*, 8(4), pp. 199-201. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(77\)90164-8](https://doi.org/10.1016/0003-6870(77)90164-8)
- Lamooki, S. R., Cavuoto, L. A., & Kang, J. (2022). Adjustments in Shoulder and Back Kinematics during Repetitive Palletizing Tasks. *Sensors*, 22(15), 5655. <https://doi.org/10.3390/s22155655>
- Lasota, A. M. (2014). Analysis of Packers' Workload on the Packing Line a Case Study. *LOGFORUM*, 10(4), pp. 383-392.
- Lasota, A. M. (2023a). Ergonomiczna analiza ryzyka w oparciu o cykl czasowy pracy operatora – studium przypadku. *SYSTEMY WSPOMAGANIA W INŻYNIERII PRODUKCJI*, 12(2), 1–8.
- Lasota, A. M. (2023b). Ocena ryzyka ergonomicznego z zastosowaniem komputerowego modelowania i symulacji – studium przypadku. <https://doi.org/10.25961/ENT.MANAG.26.01.04>
- Lasota, A. M., & Hankiewicz, K. (2017). The study of postural workload in assembly of furniture upholstery. *MATEC Web of Conferences*, 137, 07002.
- Lavender, S. A., Ko, P.L., & Sommerich, C. M. (2013). Biomechanical evaluation of the Eco-Pick lift assist: A device designed to facilitate product selection tasks in distribution centers. *Applied Ergonomics*, 44(2), pp. 230-236. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.07.006>
- Marcotte, J. V., Robert-Lachaine, X., Denis, D., Muller, A., Plamondon, A., & Corbeil, P. (2023). Biomechanical differences in experts' and novices' footstep patterns during a palletizing task. *Applied Ergonomics*, 106, 103880. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103880>
- Plamondon, A., Delisle, A., Bellefeuille, S., Denis, D., Gagnon, D., & Larivière, C. (2014). Lifting strategies of expert and novice workers during a repetitive palletizing task. *Applied Ergonomics*, 45(3), pp. 471-481. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.06.008>
- Plamondon, A., Larivière, C., Denis, D., Mecheri, H., & Nastasia, I. (2017). Difference between male and female workers lifting the same relative load when palletizing boxes. *Applied Ergonomics*, 60, pp. 93-102. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.10.014>

Ergonomic analysis of palletizing based on digital human modeling

Abstract: Many goods are packed and delivered to recipients on pallets. In small and medium-sized enterprises, manual palletizing operations are still common in both the distribution and manufacturing industries. They are associated with potential problems related to poor postural ergonomics and the risk of musculoskeletal disorders. The article presents an ergonomic analysis of palletizing. The study used modeling and simulation. The analysis showed that significant benefits could be achieved in terms of palletizing time, reduction of physical workload and the risk of musculoskeletal disorders. Practitioners should take note of the article's findings that the benefits of properly adjusting the height of the work plane can provide better performance and reduce ergonomic risks.

Keywords: ergonomics, risk, OWAS, Digital Human Modeling

Dr inż. Andrzej Marek Lasota

Uniwersytet Zielonogórski

Wydział Mechaniczny

Instytut Inżynierii Mechanicznej

ul. prof. Z. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra, Polska

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