

Ergonomiczna analiza ryzyka w oparciu o cykl czasowy pracy operatora – studium przypadku

Data wpłynięcia do Redakcji: 04/2023
Data akceptacji przez Redakcję do publikacji: 05/2023

2023, volume 12, issue 2, pp. 1-8

Andrzej Marek Lasota
Uniwersytet Zielonogórski, Poland



Streszczenie: Pracownicy są istotną częścią systemu produkcyjnego i wykonują różnorodne prace i zadania. Pracy wykonywanej przez operatorów towarzyszy ergonomiczne ryzyko wystąpienia zaburzeń mięśniowo-szkieletowych (ZMSz). ZMSz u pracowników w związku z wykonywaną pracą zawodową są nadal powszechnym zjawiskiem w przemyśle. ZMSz prowadzą do zakłóceń w procesach produkcji, absencji chorobowej oraz generują dodatkowe koszty dla przedsiębiorstw. W artykule przedstawiono ergonomiczną analizę ryzyka narażenia operatora na ZMSz w oparciu o studium przypadku. Do oceny ryzyka zastosowano metodę OWAS. Ocenę wykonano na stanowisku wykrawania arkuszy blach. Praca posiadała charakter powtarzalny i charakteryzowała się cyklem czasowym operatora. Wyniki pokazały, że operator ponad 28% efektywnego czasu pracy przebywa w szkodliwych i bardzo szkodliwych pozycjach pracy, z dużym oraz bardzo dużym ryzykiem powstania zaburzeń w układzie mięśniowo-szkieletowym. Sformułowano rekomendacje obejmujące zmiany w strukturze przestrzennej stanowiska pracy, przeprowadzenie szkoleń pracowników z podstaw ergonomii stanowiska pracy oraz prawidłowych pozycji podczas pracy.

Słowa kluczowe: ergonomia, ryzyko, OWAS, cykl pracy

WPROWADZENIE

Procesy operacyjne w systemach produkcyjnych są ważne w wielu gałęziach przemysłu w obliczu konkurencyjnych wyzwań związanych z globalizacją, konkurencją rynkową i krótszymi cyklami życia produktów. Poprawa wydajności systemów operacyjnych stała się priorytetem dla zakładów produkcyjnych. Procesy operacyjne zazwyczaj charakteryzują się dużą ilością ręcznej pracy ludzkiej, zwłaszcza w obszarach takich jak przeładunek materiałów, obsługa maszyn i montaż. Pomimo możliwości oferowanych przez automatyzację systemów produkcyjnych, wiele firm nadal polega na pracy ludzkiej w kilku obszarach ze względu na ich elastyczność i ekonomiczną opłacalność. Pracownicy są istotną częścią systemu produkcyjnego i wykonują różnorodne prace i zadania przez cały cykl życia. Zajmują się projektowaniem, produkcją, montażem, transportem, instalacją, obsługą, konserwacją i demontażem wszystkich zaprojektowanych systemów [11]. Chociaż istnieje dyscyplina naukowa Ergonomia/Czynnik ludzki, koncentrująca się na optymalizacji dobrostanu i wydajności systemu [6], to wyniki badań dowodzą [3, 10], że występowanie

zaburzeń mięśniowo-szkieletowych (ZMSz) u pracowników wykonujących pracę zawodową są powszechnym zjawiskiem w przemyśle. Stąd ważne jest, aby menedżerowie, inżynierowie i praktycy stosowali ergonomię nie tylko w projektowanie systemu produkcyjnego, ale także w ocenie istniejących procesów produkcyjnych, stanowisk pracy, wykonywanej pracy i zadań, produktów, środowiska pracy i systemów pracy w celu realizacji potrzeb. Powinni przy tym uwzględniać możliwości i ograniczenia pracowników w celu osiągnięcia satysfakcjonującego poziomu ergonomicznego.

Na ZMSz związane z wykonywaną pracą posiada wpływ szereg czynników np. projekt stanowiska pracy, wykonywane zadania, metody pracy, narzędzia i ich konstrukcja oraz cechy antropometryczne pracowników [8]. Występowanie ZMSz u pracowników wpływa także na wyniki ekonomiczne zakładów pracy oraz jakość życia pracowników. ZMSz mogą powodować dyskomfort, ból u operatorów w miejscu pracy co może prowadzić do absencji chorobowej. Przewlekłe choroby układu mięśniowo-szkieletowego rozwijają się w pewnym okresie czasu, co może prowadzić w dłuższej perspektywie do trwałej niepełnosprawności i chorób zawodowych [5]. W Polsce w 2020 r 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 [13].

Z punktu widzenia ergonomii, przy projektowaniu oraz ocenie i diagnozie systemów pracy muszą być brane pod uwagę ergonomiczne czynniki ryzyka, które przyczyniają się do powstania ZMSz. Do głównych ergonomicznych czynników ryzyka należą: pozycja operatora podczas pracy, zakres ruchów, stosowana siła, powtarzalność oraz czas trwania ruchów roboczych [2].

Oceny ergonomiczne wykonywane w przemyśle skupiają się przede wszystkim na ocenianiu pozycji statycznej operatorów, zakładane jako reprezentujące najgorsze scenariusze [9]. To podejście jest częściowo spowodowane brakiem odpowiednich metod analizy pracy człowieka w ruchu [4]. Ale także ze względu na złożoność procesu pracy, treści pracy realizowanej przez operatora oraz czas potrzebny do wykonania oceny ergonomicznej i związane z tym koszty. Wyniki analiz statycznych pozycji operatorów są rzeczywiście przydatne, ale nie ujawniają pełnego obrazu faktycznej sytuacji, ponieważ praca wykonywana przez operatora zazwyczaj obejmuje szereg zadań, pozycji i ruchów roboczych. Kilku badaczy uważa, że istnieje potrzeba odwrócenia uwagi od czystej oceny analizy statycznej postawy na rzecz oceny zadań roboczych i uwzględnienia czynników związanych z czasem [12]. Twierdzą, że powtarzalność, czas trwania ekspozycji, czas regeneracji, prędkość ruchu itp. przyczyniają się co najmniej w takim samym stopniu do potencjalnego ryzyka powstania ZMSz związanych z pracą, jak pozycja podczas pracy i obciążenie statyczne.

Stąd celem pracy była ergonomiczna analiza ryzyka operatora pracującego w cyklu czasowym z uwzględnieniem czasu trwania czynności. Analizę przeprowadzono na stanowisku wykrawania otworów w arkuszach blachy.

MATERIAŁY I METODY

Oceniane stanowisko pracy, zadanie

Ocenę ergonomiczną przeprowadzono na stanowisku wykrawania. Na wykrawarce wycinane były otwory w arkuszach z blach. Operator pracę wykonywał w pozycji stojącej. Pracownik pobierał arkusz blachy z palety, następnie umieszczał go w obszarze roboczym maszyny, po wykrojeniu odkładał na paletę. Praca odbywała się w systemie jedno zmianowym od 6.00 do 14.00, 8 godzin dziennie. Zadanie posiadało charakter powtarzalny i było realizowane w cyklu czasowym. Średni czas pojedynczego cyklu wynosił $T_c = 61,1$ sekund. Operator dysponował dwoma przerwami wypoczynkowymi, których łączny czas wynosił 30 minut.

Hierarchiczna analiza zadań (HAZ)

Metoda analizy zadań, która zapewnia obszerny opis wszystkich zadań niezbędnych do osiągnięcia głównego celu w strukturze hierarchicznej [1]. Podczas przeprowadzania HAZ stosuje się następujące terminy do określenia różnych aspektów zadania na różnych poziomach hierarchii: Cel – zewnętrzne zadanie powodujące możliwą do zweryfikowania zmianę stanu, takie jak np. „wywiercenie otworu”, „składanie produktu”; Zadania – czynności niezbędne do osiągnięcia celów; Podzadania – składniki zadań; Operacja – pojedyncza czynność najniższego poziomu.

Metoda OWAS

Metodę Ovako Working Posture Analysis System (OWAS) zaproponowali fińscy badacze [7]. OWAS została opracowana do oceny 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. OWAS opiera się na klasyfikacji 84 podstawowych pozycji ciała przyjmowanych przez operatora podczas pracy w oparciu o następujące segmenty ciała: tułów (plecy), ramiona, nogi. Dodatkowo uwzględniono obciążenie zewnętrzne w kilogramach co w powiązaniu z segmentami ciała daje w sumie 252 kombinacje, z których każda daje unikalny kod OWAS składający się z czterech cyfr.

Podstawę oceny narażenia na ZMSz stanowi stopień łącznego obciążenia pozycją ciała z uwzględnieniem obciążenia zewnętrznego. Metoda OWAS ukierunkowana jest na identyfikację problemów oraz działania korekcyjne co znajduje swój wyraz w kategoriach działań (KD). Głównym celem oceny staje się ujawnienie i ewentualna korekta niepożądanych pozycji operatora podczas pracy.

Przyjęto następujące kody dla segmentów ciała oraz obciążenia zewnętrznego [7]:

- pozycja pleców (cztery zakodowane pozycje: 1 – wyprostowane, 2 – zgięte do przodu, 3 – skrzyżowane, 4 – zgięte i skrzyżowane),
- położenie ramion (trzy pozycje: 1 – obydwa poniżej stawu ramiennego, 2 – jedno powyżej stawu ramiennego, 3 – obydwa powyżej stawu ramiennego),

- położenie nóg (siedem pozycji: 1 – pozycja siedząca, 2 – stojąca z nogami wyprostowanymi, 3 – stojąca z jedną nogą wyprostowaną, 4 – stojąca z nogami zgiętymi, 5 – stojąca z jedną nogą zgiętą, 6 – klęczenie na jednym lub obu kolanach, 7 – chodzenie),
- obciążenie zewnętrzne (trzy kody: 1 – mniejsze od 10kg, 2 – 10 do 20kg, 3 – powyżej 20kg).

Na sumaryczny kod obciążenia pozycji operatora składają się kody: położenia pleców, położenia ramion, położenia nóg i obciążenia zewnętrznego; tworząc czterocyfrowy kod. Na przykład 2143: kod 2 – plecy pochylone, 1 – oba ramiona poniżej stawu ramiennego, 4 – stojąca z nogami zgiętymi, kod 3 – obciążenie zewnętrzne o masie powyżej 20kg. Ich kombinacja tworzy kategorie oceny opisujące ryzyko narażenia na ZMSz oraz kategorie działań niezbędnych do przeprowadzenia interwencji ergonomicznej na ocenianym stanowisku pracy. Autorzy wyróżnili następujące kategorie działań [7]:

- KD 1 – bez ryzyka, pozycja prawidłowa, bez szczególnego szkodliwego wpływu na układ mięśniowo-szkieletowy operatora, działania interwencyjne nie są wymagane.
- KD 2 – występuje niewielkie ryzyko, pozycja robocza ma niewielki szkodliwy wpływ na układ mięśniowo-szkieletowy, występuje lekkie obciążenie, natychmiastowa interwencja nie jest wymagana, ale korekta ergonomiczna powinna być wzięta pod uwagę w przyszłych działaniach.
- KD 3 – wysokie ryzyko, pozycja robocza posiada znaczny szkodliwy wpływ na układ mięśniowo-szkieletowy, interwencja ergonomiczna powinna być przeprowadzona możliwie jak najszybciej.
- KD 4 – bardzo wysokie ryzyko, pozycja robocza ma bardzo duży szkodliwy wpływ na układ mięśniowo-szkieletowy, interwencja ergonomiczna wymagana jest natychmiast.

WYNIKI I OMÓWIENIE

Sporządzono fotografię dnia roboczego z wykorzystaniem HAZ. Wyznaczono efektywny czas pracy powtarzalnej podczas wykrawania otworów, który wynosił 7 godzin i 10 minut. Czas trwania zmiany roboczej (8 godzin) minus suma przerw wypoczynkowych (30 minut), minus czas przygotowania stanowiska pracy (10 minut), minus czas uporządkowania stanowiska (10 minut). Zastosowano hierarchiczną analizę zadań dla głównego zadania wykonywanego przez operatora w cyklu czasowym. Wyłoniono czynności realizowane przez operatora oraz sporządzono chronometraż biorąc pod uwagę średnie czasy trwania poszczególnych czynności wykonywanych przez pracownika (tabela 1).

Wyodrębniono jedenaście czynności w cyklu pracy operatora. Najdłuższą czynnością ze względu na czas trwania był Nadzór operatora nad wykrawaniem otworów w arkuszu blachy. Pojedynczy cykl pracy operatora trwał średnio $T_c = 61,1$ sekund.

Tabela 1 Chronometraż czynności na stanowisku wykrawania otworów

Lp.	Czynność	Czas trwania [s]	Udział w cyklu [%]
1	Pobranie arkusza blachy	4,2	6,9
2	Przeniesienie arkusza blachy	5,8	9,5
3	Umieszczenie w maszynie	5,1	8,3
4	Podejście do panelu sterującego	3,5	5,7
5	Załączenie maszyny	1,1	1,8
6	Nadzór wykrawania	15,2	24,9
7	Wyciągnięcie arkusza z maszyny	3,8	6,2
8	Kontrola wzrokowa arkusza	5,0	8,2
9	Transport arkusza	6,9	11,3
10	Odłożenie arkusza	4,3	7,0
11	Powrót na stanowisko	6,2	10,1
Suma		61,1	100

Zastosowanie metody OWAS do oceny pojedynczych czynności pozwoliło na identyfikację kodów pozycji dla każdej z czynności wykonywanej przez operatora (tabela 2). Co pozwoliło w następnym kroku na określenie kategorii działań i poziomu ryzyka wystąpienia ZMSz u operatora.

Tabela 2 Ocena OWAS na stanowisku wykrawania otworów

Lp.	Czynności	Kod pozycji segmentów ciała				KD
		Plecy	Ramiona	Nogi	Obciążenie	
1	Pobranie arkusza blachy	2	1	4	1	3
2	Przeniesienie arkusza blachy	1	1	7	1	1
3	Umieszczenie w maszynie	4	1	5	1	4
4	Podejście do panelu sterującego	1	1	7	1	1
5	Załączenie maszyny	1	2	2	1	1
6	Nadzór wykrawania	1	1	7	1	1
7	Wyciągnięcie arkusza z maszyny	4	1	5	1	4
8	Kontrola wzrokowa arkusza	2	1	2	1	2
9	Transport arkusza	1	1	7	1	1
10	Odłożenie arkusza	2	1	4	1	3
11	Powrót na stanowisko	1	1	7	1	1

Kod pozycji 2141 wystąpił dwukrotnie, podczas pobierania oraz odkładania arkusza blachy na paletę. Z kolei kod pozycji 1171 wystąpił pięciokrotnie i był związany z przemieszczaniem się operatora na stanowisku pracy (Podejście ..., Transport ..., Odłożenie ..., Powrót ...). Kod pozycji 4151 wystąpił dwukrotnie: podczas umieszczania arkusza blachy obszarze roboczym maszyny a następnie podczas Wyciągania arkusza blachy. Kod 1121 wystąpił jednokrotnie i związany był z załączeniem maszyny. Również kod 2121 wystąpił jednokrotnie i odnosił się do pozycji związanej z kontrolą wzrokową arkusza blachy.

Analiza KD (tabela 2) wykazała, że sześć czynności zakwalifikowano do KD 1, które charakteryzują się pomijalnym ryzykiem wystąpienia ZMSz, pozycja prawidłowa, bez szczególnego szkodliwego wpływu na układ mięśniowo-szkieletowy operatora, działania interwencyjne nie są wymagane. Czynności

związane były z przemieszczaniem się operatora oraz Załączeniem maszyny i Nadzorem nad wykrawaniem.

Zaobserwowano, że KD 2 wystąpiła jedynie w przypadku Kontroli wzrokowej wykrojonego arkusza. Czynność obarczona jest niewielkim ryzykiem pojawienia się ZMSz, pozycja robocza ma niewielki szkodliwy wpływ na układ mięśniowo-szkieletowy, występuje lekkie obciążenie, natychmiastowa interwencja ergonomiczna nie jest wymagane, ale korekta ergonomiczna powinna być wzięta pod uwagę w przyszłych działaniach.

Kategorię KD 3 odnotowano w dwóch przypadkach: Pobrania oraz Odłożenia arkusza blachy. Wiążą się one ze znacznym ryzykiem wystąpienia ZMSz, pozycja robocza posiada znaczny szkodliwy wpływ na układ mięśniowo-szkieletowy, interwencja ergonomiczna powinna być przeprowadzona możliwie jak najszybciej.

Odnotowano dwa przypadki KD 4: Umieszczenia oraz Wyciągnięcia arkusza blachy z maszyny. Obie czynności charakteryzują się bardzo wysokim poziomem narażenia na ZMSz, pozycja robocza ma bardzo duży szkodliwy wpływ na układ mięśniowo-szkieletowy, interwencja ergonomiczna wymagana jest natychmiast.

Łączny czas trwania sześciu czynności zakwalifikowanych do KD 1 wynosił 38,7 sekund, do KD 2 – 5,0 sekund (jedna czynność), KD 3 – 8,5 sekund (dwie czynności), KD 4 – 8,9 sekund (dwie czynności) (tabela 3).

Tabela 3 Udział poszczególnych KD w czasie trwania jednego cyklu T_c

KD	Liczba czynności	Łączny czas [s]	Udział KD w cyklu T_c [%]
1	6	38,7	63,3
2	1	5,0	8,2
3	2	8,5	13,9
4	2	8,9	14,6
Razem	11	61,1	100,0

Operator 63,3% czasu cyklu T_c , a tym samym efektywnego czasu pracy zmiany roboczej przyjmuje pozycje, które charakteryzują się znikomym ryzykiem wystąpienia ZMSz, z kolei ok. 8% efektywnego czasu pracy operator narażony jest na niewielkie ryzyko ZMSz. Natomiast ok. 14% efektywnego czasu pracy przymuje szkodliwe pozycje robocze powodujące duże ryzyko ZMSz. Blisko 15% efektywnego czasu pracy operator narażony jest na bardzo duże ryzyko ZMSz w związku z pracowaniem w bardzo obciążających i szkodliwych pozycjach pracy.

Ponad 28% efektywnego czasu pracy (KD3 oraz KD4) operator narażony jest co najmniej na duże ryzyko pojawienia się ZMSz i dotyczy to czterech czynności. W tym przypadku interwencja ergonomiczna związana z korektą na stanowisku pracy wymagana jest bez zbędnej zwłoki.

WNIOSKI

Ergonomiczna analiza ryzyka w oparciu o cykl czasu pracy operatora na stanowisku wykrawania otworów w arkuszach blachy wykazała, że

- spośród jedenastu czynności w czterech zidentyfikowano duże i bardzo duże ryzyko pojawienia się ZMSz,
- operator ok. 14% efektywnego czasu pracy przebywa w szkodliwych pozycjach pracy, z dużym narażeniem na ZMSz i korekta ergonomiczna wymagana jest najszybciej jak to możliwe,
- operator blisko 15% efektywnego czasu pracy przyjmuje pozycje obciążone bardzo dużym ryzykiem pojawienia ZMSz, korekta ergonomiczna wymagana jest natychmiast.

Interwencja ergonomiczna na ocenianym stanowisku powinna obejmować:

- modyfikację struktury przestrzennej stanowiska pracy obejmującą przestawienie palet bliżej maszyny (skrócenie czasu czynności związanej z dojściem do palety) oraz umieszczenie palety na podwyższeniu (zmniejszenia kąta pochylenia pleców pracownika podczas pobierania i odkładania blach),
- rozważenie wprowadzenia rotacji pracowników na stanowiskach pracy,
- przeprowadzenie szkolenia pracowników z podstaw ergonomii stanowisku pracy w tym ekonomiki ruchów oraz prawidłowych pozycji podczas pracy.

LITERATURA

- [1] J. Annett. „Hierarchical task analysis. Handbook of cognitive task design” CRC Press, pp. 17-36, 2003.
- [2] B.P. Bernard and V. Putz-Anderson. „Musculoskeletal disorders and workplace factors; a critical review of epidemiologic 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.
- [3] S.A. Candan, U.K. Sahin, and S. Akoğlu. „The investigation of work-related musculoskeletal disorders among female workers in a hazelnut factory: Prevalence, working posture, work-related and psychosocial factors”. *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 74, 102838, 2019.
- [4] D.B. Chaffin. „Improving digital human modelling for proactive ergonomics in design”. *Ergonomics*, vol. 48, issue 5, pp. 478-491, 2005.
- [5] Dz. U. „Obwieszczenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 9 sierpnia 2022 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie chorób zawodowych”. poz. 1836, 2022.
- [6] IEA (International Ergonomics Asosiation), <https://iea.cc/about/what-is-ergonomics/>
- [7] O. Karhu, P. Kansu, I. Kuorinka. “Correcting working postures in industry: a practical method for analysis”. *Applied Ergonomics*, vol. 8, issue 4, pp. 199-201, 1977.
- [8] A.M. Lasota. „A new approach to ergonomic physical risk evaluation in multi-purpose workplaces”. *Tehnički vjesnik*, vol. 27, issue 2, pp. 467-474, 2020.
- [9] A.M. Lasota. „Analiza obciążenia pracą metodą OWAS”. *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*, vol. 16, issue 3, pp. 35-39, 2013.
- [10] B. Rathore, A.K. Pundir, and R. Iqbal. „Ergonomic risk factors in glass artware industries and prevalence of musculoskeletal disorder”. *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 80, 103043, 2020.
- [11] E. Tytyk. „Projektowanie ergonomiczne”. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2001.

- [12] R. Wells, S.E. Mathiassen, L. Medbo, and J. Winkel. „Time – a key issue for musculoskeletal health and manufacturing”. *Applied Ergonomics*, vol. 38, issue 6, pp. 733-744, 2007.
- [13] ZUS. „Absencja chorobowa w 2020 roku”. Zakład Ubezpieczeń Społecznych, Warszawa, 2021.

Ergonomic Risk Analysis Based on the Operator's Work Cycle - a Case Study

Abstract: Workers are an essential part of the production system and perform a variety of jobs and tasks. The work performed by operators is accompanied by an ergonomic risk of developing musculoskeletal disorders (MSDs). MSDs are still common phenomenon in industry. And MSDs lead to disruptions in production processes, sickness absence and additional costs for businesses. The article presents an ergonomic risk analysis of operator exposure to MSDs based on a case study. The OWAS method was used for risk assessment. The evaluation was performed at the sheet metal punching station. The task was repetitive and characterized by the operator's work cycle. The results showed that the operator spends more than 28% of the effective working time in harmful and very harmful working postures, with a high and very high risk of developing musculoskeletal disorders. Recommendations were formulated, including changes in the layout of the workplace, training employees on the principles of ergonomics and correct working postures.

Keywords: ergonomics, risk, OWAS, work cycle

Andrzej Marek Lasota

ORCID ID: 0000-0002-7597-4032

Uniwersytet Zielonogórski

Wydział Mechaniczny

Instytut Inżynierii Mechanicznej

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

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