

Ergonomia i *workflow* a efektywność procesów produkcyjnych w branży spożywczej – studium przypadku

dr inż. Patrycja Kabiesz^a (ORCID: 0000-0001-5920-7485)



W artykule przeanalizowano wpływ poziomu ergonomiczności warunków pracy oraz organizacji przepływów pracy (ang. *workflow*) na efektywność procesów produkcyjnych w branży spożywczej – na przykładzie zakładu przetwórstwa mięsa wieprzowego. Na podstawie studium przypadku przeprowadzono kompleksową diagnozę stanowiska pakowacza, do czego wykorzystano takie narzędzia, jak system Motion Capture, oprogramowanie CAPTIV L7000 oraz 3DSSPP, które umożliwiły identyfikację i ocenę czynności obciążających układ mięśniowo-szkieletowy oraz wskazały obszary wymagające interwencji ergonomicznej. Wdrożenie użytecznego modelu *workflow*, łączącego czynniki ergonomiczne z optymalizacją przepływów pracy, przyniosło wymierne korzyści w postaci zwiększenia wydajności, poprawy warunków pracy i ograniczenia ryzyka zawodowego. W artykule podkreślono również rolę nowoczesnych technologii w monitorowaniu i doskonaleniu procesów produkcyjnych oraz wskazano na uniwersalność opracowanego modelu, który może zostać zaadaptowany w innych sektorach przemysłowych.

Słowa kluczowe: ergonomia, *workflow*, efektywność pracy, przetwórstwo spożywcze, bhp

Ergonomics and workflow versus the efficiency of production processes in the food industry – a case study

The aim of this article is to analyse the impact of the ergonomics of working conditions and workflow organisation on the efficiency of production processes in the food industry, using the example of a pork processing plant. Based on a case study, a comprehensive diagnosis of the packer's workstation was carried out using tools such as the Motion Capture system, CAPTIV L7000 software and 3DSSPP, which enabled the identification and assessment of activities that strain the musculoskeletal system and indicated areas requiring ergonomic intervention. The implementation of a utilitarian workflow model, combining ergonomic factors with workflow optimisation, brought measurable benefits in the form of increased productivity, improved working conditions and reduced occupational risks. The article also highlights the role of modern technologies in monitoring and improving production processes and points to the versatility of the developed model, which can be adapted to other industrial sectors.

Keywords: ergonomics, workflow, productivity, food processing, occupational safety and health

^a Politechnika Śląska, Wydział Organizacji i Zarządzania, kontakt: patrycja.kabiesz@polsl.pl.

Wstęp

Branża spożywcza ze względu na swą specyfikę stawia szczególne wyzwania w zakresie ergonomii i organizacji procesów pracy. Pracownicy tej branży często wielokrotnie wykonują te same czynności w krótkim czasie, co prowadzi do przeciążenia fizycznego i psychicznego. Na wielu stanowiskach pracy występują trudne warunki środowiskowe, np. niska temperatura w chłodniach czy wysoka wilgotność, co również negatywnie wpływa na komfort i bezpieczeństwo zatrudnionych osób. Długotrwała praca w nieergonomicznych warunkach sprzyja rozwojowi dolegliwości mięśniowo-szkieletowych, które są jedną z głównych przyczyn absencji chorobowej oraz przedwczesnego wycofywania się z życia zawodowego [1–3].

Nieprawidłowe zorganizowanie stanowisk roboczych – m.in. pod względem ergonomii – skutkuje obniżeniem wydajności oraz zwiększeniem absencji chorobowej i ryzyka występowania urazów zawodowych [4–6]. Jednocześnie obserwuje się niedostateczne zintegrowanie zasad ergonomii z projektowaniem *workflow*, co przekłada się na straty organizacyjne i ekonomiczne [7]. Odpowiednie kształtowanie procesów (obejmujących przepływ zarówno pracy, jak i informacji) odgrywa kluczową rolę w optymalizacji produkcji. Jednak w wielu przedsiębiorstwach branży spożywczej wciąż brakuje systemowego podejścia do łączenia tych dwóch obszarów (tj. ergonomii i organizacji procesów), a to prowadzi do nieefektywności i zwiększonego ryzyka urazów zawodowych [8, 9].

Warto w tym miejscu wyjaśnić, że przez pojęcie *workflow* w kontekście biznesowym należy rozumieć przepływ informacji lub pracy. To predefiniowany zestaw kroków i odpowiednich procedur, w ramach których dokumenty, informacje lub zadania są przekazywane od jednego uczestnika do kolejnych i po wykonaniu prowadzą do ukończenia danego projektu [10].

Jak podkreśla się w literaturze, obecnie coraz większego znaczenia nabiera integracja ergonomii z *workflow* jako elementu wspierającego zarówno efektywność produkcji, jak i bezpieczeństwo pracowników. Holistyczne podejście do organizacji pracy pozwala na redukcję kosztów związanych z absencją chorobową i rotacją kadry, a także na poprawę jakości produktów i satysfakcji zespołu [11, 12]. Wdrażanie nowoczesnych technologii, takich jak systemy Motion Capture, stanowi innowację umożliwiającą precyzyjną analizę i optymalizację wzorców pracy [13].

Celem artykułu jest wskazanie praktycznych rozwiązań, które umożliwiają poprawę efektywności procesów produkcyjnych poprzez ergonomiczne kształtowanie środowiska pracy oraz optymalizację przepływów pracy na bazie wyników badań empirycznych.

Założenia badań

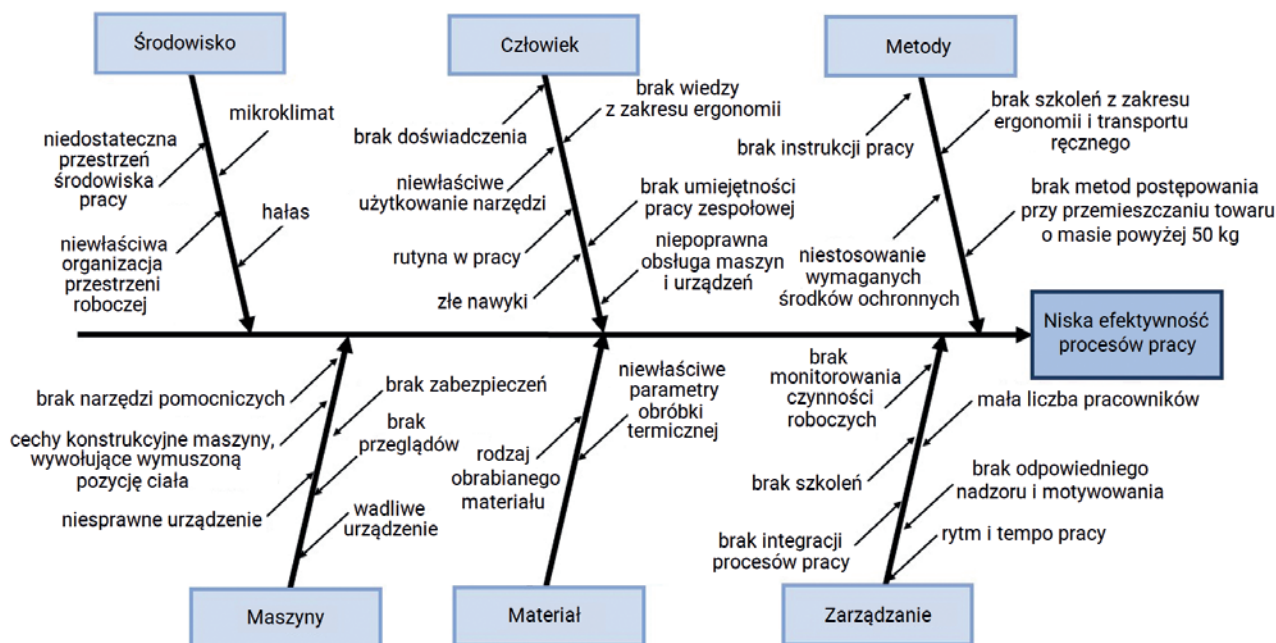
Badania własne przeprowadzono w średniej wielkości zakładzie przetwórstwa mięsa wieprzowego, typowym dla branży spożywczej. Analizie poddano stanowisko pakowacza, usytuowane

w pomieszczeniu określanym jako „pakownia, chłodnia wyrobów gotowych”. Wybór tego stanowiska wynikał z charakteru wykonywanych na nim zadań (o wysokiej powtarzalności) i narażenia na trudne warunki środowiskowe (m.in. na niską temperaturę 4–6°C), a także z faktu, że panujące na nim warunki pracy mają znaczący wpływ na efektywność całego procesu produkcyjnego.

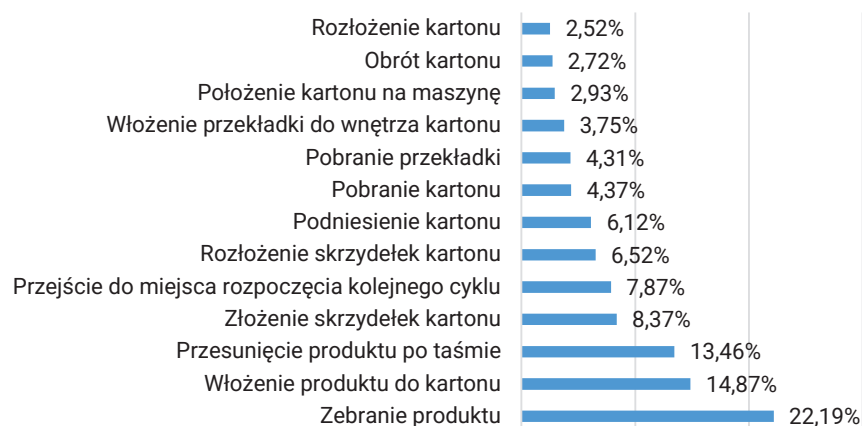
Głównym celem badań było opracowanie i wdrożenie modelu *workflow*, który wspiera kształtowanie optymalnych warunków pracy poprzez integrację czynników ergonomicznych z analizą przepływów procesów produkcyjnych. Model ten nie tylko miał zwiększyć wydajność, lecz także poprawić bezpieczeństwo i komfort pracowników dzięki zminimalizowaniu ryzyka wystąpienia dolegliwości mięśniowo-szkieletowych.

Badania miały charakter ilościowo-jakościowy i przebiegały według schematu metody indukcyjnej. Polegała ona na szczegółowej obserwacji oraz analizie konkretnych przypadków i zdarzeń zachodzących na stanowiskach pracy, co pozwala na wyciągnięcie uogólnionych wniosków dotyczących projektowania stanowisk pracy oraz narzędzi i procesów pracy. Innymi słowy, badanie rozpoczęło się od analizy konkretnych działań i zachowań pracowników, by następnie na tej podstawie sformułować ogólne zasady mające na celu poprawę warunków i organizacji pracy.

W trakcie badań rozpoznano ogółem 42 różne czynności pracy podczas produkcji kielbasy.



Rys. 1. Wykres przyczynowo-skutkowy niewłaściwie ukształtowanych warunków pracy, które mają wpływ na efektywność procesów pracy (opracowanie własne)
Fig. 1. Cause-and-effect diagram of improperly shaped working conditions affecting the efficiency of work processes (own elaboration)



Rys. 2. Struktura procentowa czasu trwania poszczególnych czynności w badanym procesie pracy
Fig. 2. Percentage structure of the duration of individual activities in the analyzed work process

W celu identyfikacji głównych problemów i czynników negatywnie wpływających na efektywność procesów pracy zastosowano diagram Ishikawy [14], znany również jako diagram rybiej ości. To narzędzie służy do systematycznego rozwiązywania problemów poprzez przedstawienie ich przyczyn w formie wykresu przyczynowo-skutkowego, przypominającego szkielet ryby. W analizowanym przypadku źródła problemu niskiej efektywności procesów pracy podzielono na sześć kluczowych kategorii: środowisko pracy, człowiek, metody, maszyny, materiały oraz zarządzanie (rys. 1). Takie podejście umożliwiło całościową ocenę aspektów zarówno technicznych, jak i organizacyjnych czy psychospołecznych.

W analizowanym przedsiębiorstwie dokonano zapisu audio-wideo faktów występujących w procesie pakowania – łączny czas nagrania wyniósł w przybliżeniu 2 h. Na linii produkcyjnej wyróżniono dwanaście zróżnicowanych czynnościowo stanowisk manualnych i zautomatyzowanych, ułożonych w logiczną całość i połączonych ze sobą różnymi rodzajami środków transportu (głównie ręcznego), tworząc ciąg technologiczny. Zauważono też, że ze względu na liczbę maszyn i specyfikę pracy przekroczone zostały wartości progowe hałasu w pomieszczeniach pakowalniczych i chłodni wyrobów gotowych, gdzie występuje oświetlenie naturalne i sztuczne.

W badanym przedsiębiorstwie mężczyźni i kobiety pracują w systemie trzyzmianowym (czas zmiany wynosi 8 h). Wszystkie czynności pracy są wykonywane w pozycji stojącej. Ponadto występuje rotacyjny system pracy – czas pracy na jednym stanowisku trwa godzinę, po czym następuje zmiana stanowiska zgodnie z harmonogramem. Po przepracowaniu 4 h na zmianie roboczej rozpoczyna się przerwa trwająca 20 min.

Dominującą grupą czynności wyodrębnionych podczas zmiany roboczej

są ręczne czynności transportowe, tj. pracownicy wykonują liczne ruchy polegające na sięganiu, chwytaniu, ściskaniu, skręcaniu, przesuwaniu, naciskaniu, odkładaniu itp. Jako skutek wykonywania prac ręcznych, głównie w pozycji zgiętej i skręconej, zaobserwowano problem obciążenia nadgarstków, występujący na wszystkich zidentyfikowanych stanowiskach pracy na linii produkcyjnej. Wyjątkowo uciążliwym stanowiskiem okazało się to, na którym pracownicy wykonują czynności związane ze składaniem skrzydełek kartonu i z pakowaniem wyrobów jednostkowych w opakowania zbiorcze.

Do szczegółowej analizy ergonomicznej wykorzystano specjalistyczne oprogramowanie, takie jak CAPTIV L7000 [15] oraz 3DSSPP [16]. Narzędzia te umożliwiają modelowanie statycznych sił mięśniowych oraz ocenę obciążenia układu mięśniowo-szkieletowego podczas wykonywania konkretnych czynności. Metody tabelaryczne, powszechnie stosowane w ergonomii, uzupełniały analizę ilościową, dostarczając dodatkowych danych na temat poziomu obciążenia i ryzyka zawodowego.

W celu pełniejszego zrozumienia zachowań pracowników i ich wzorców ruchowych zastosowano zapis audio-wideo oraz system Motion Capture [6, 7]. Pozwoliło to na precyzyjną rejestrację ruchów w trójwymiarowej przestrzeni i tym samym ułatwiło identyfikację nieprawidłowości oraz czynności, które najbardziej obciążają organizm. Analiza wzorców ruchowych w czasie rzeczywistym pomogła zwłaszcza w ocenie dynamiki i powtarzalności ruchów, co stanowi klucz do opracowania skutecznych korekt ergonomicznych.

Jak się okazało, średnio w ciągu godzinny pracownik powtarza 133 razy wszystkie czynności związane ze składaniem kartonu i z zapakowaniem wyrobów gotowych (rys. 2). Najwięcej czasu (średnio 6 s) poświęca na wykonanie czynności związanej z zebraniem produktów (wyrobów

gotowych). Drugie miejsce pod względem czasu trwania zajmuje wkładanie produktów do kartonu (4 s), a trzecie – czynność związana z przesuwaniem produktów po taśmie (3,5 s). Czynnościami, które pracownik wykonuje najszybciej, są rozkładanie i obrót kartonu (średni czas trwania tych czynności wynosi niespełna 1 s).

W ramach każdej czynności określono pozycję ciała, jaką przyjmuje pracownik, aby wykonać zadanie robocze. Następnie na podstawie obliczeń matematycznych zidentyfikowano przyczyny nieodpowiednio dobranych relacji somatycznych, które obciążają układ mięśniowo-szkieletowy i tym samym wydłużają czas wykonywania czynności. Ponadto, wykorzystując metody ergonomiczne RULA (ang. *rapid upper limb assessment*), JSI (ang. *job strain index*) i KIM (ang. *key item method*), przeprowadzono całościową ocenę ryzyka występowania dolegliwości mięśniowo-szkieletowych. Na bazie wiedzy z zakresu kształtowania poprawnych warunków pracy dokonano wyboru metod służących do diagnozy ergonomicznej poszczególnych czynności pracy.

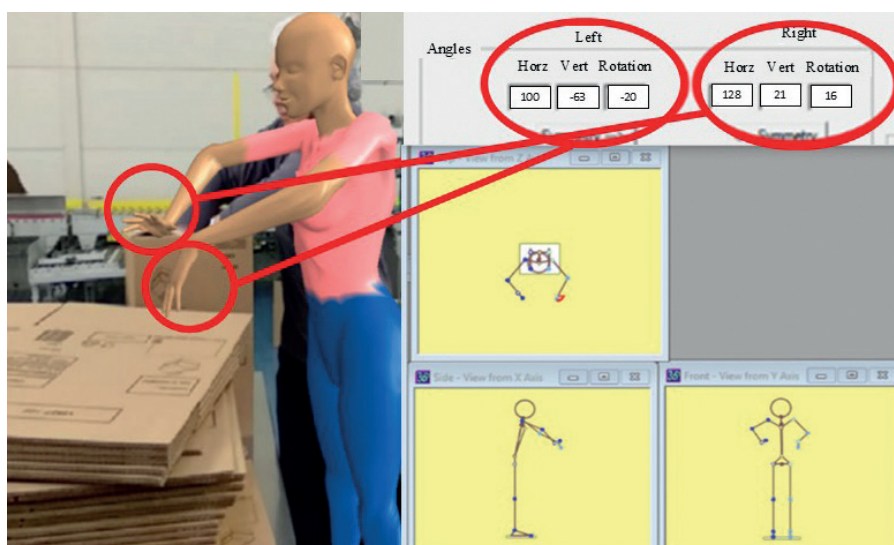
Badania nie ograniczyły się wyłącznie do warunków produkcyjnych – przeprowadzono również testy w warunkach laboratoryjnych. Pozwoliło to na wypróbowanie różnych wariantów korekcyjnych i wybór najefektywniejszych rozwiązań przed ich implementacją w zakładzie. Po wdrożeniu usprawnień przeprowadzono ponowną ocenę ergonomiczną i efektywnościową, aby zweryfikować skuteczność wdrożonych zmian oraz ich wpływ na warunki pracy i wyniki produkcyjne.

Studium przypadku i wyniki

Charakterystyka analizowanego procesu

Zakład, w którym przeprowadzono badania, specjalizuje się w przetwórstwie mięsa wieprzowego, w tym w rozbiórce półtuszy, oraz sprzedaży mięsa i wyrobów wędliniarskich. Obecnie w przedsiębiorstwie produkowanych jest ok. 150 gatunków wędlin, a procesy produkcyjne obejmują: kielbasy o różnym stopniu rozdrobnienia, produkty blokowe i wędzonki. Produkcja odbywa się w nowoczesnej hali o powierzchni 4000 m², w której pracuje ok. 140 osób.

Jako przedmiot analizy wybrano proces produkcji kielbasy średniorozdrobnionej – ze względu na jego złożoność technologiczną oraz częste występowanie analogicznych procedur w innych zakładach branży spożywczej. W ramach studium przypadku przeprowadzono szczegółowe



Rys. 3. Analiza ergonomiczna podczas wykonywania czynności ze skrajnym wychyleniem nadgarstków
Fig. 3. Ergonomic analysis during activities requiring extreme wrist movements

rozpoznanie pełnej struktury przepływu surowca i półproduktu przez kolejne etapy produkcyjne. Szczególną uwagę poświęcono czynnościom transportowym, ponieważ ich udział czasowy w aktywności pracowników na stanowisku pakowacza był największy. Transport w znacznym stopniu odbywał się ręcznie, co powodowało duże obciążenie fizyczne i przyczyniało się do powstawania dyskomfortu oraz zmęczenia mięśniowego. Czynności te obejmowały przemieszczanie i układanie kartonów, ręczne składanie opakowań oraz przenoszenie gotowych wyrobów w chłodni, w warunkach obniżonej temperatury. Właśnie ten aspekt był kluczowym czynnikiem determinującym konieczność interwencji ergonomicznych.

Przed wdrożeniem modelu *workflow* dokonano szczegółowego rozpoznania planu zakładu oraz struktury przepływu surowca i półproduktu, aby zidentyfikować ręczne czynności wykonywane na stanowiskach pracy oraz kluczowe miejsca wymagające poprawy warunków pracy, co ostatecznie może usprawnić cały proces produkcji.

Produkcja kielbasy obejmuje 11 procesów pracy: sześć podstawowych i pięć pomocniczych [17]. Procesy podstawowe obejmują rozbiór, peklowanie, wytwarzanie, wędzenie, chłodzenie oraz pakowanie, natomiast procesy pomocnicze – magazynowanie, mycie i sprzątanie, transport wewnątrzzakładowy, kontrolę jakości oraz przygotowanie do realizacji procesów podstawowych. Cały proces zaczyna się od przyjęcia surowca od dostawców, sprawdzenia jego temperatury i masy oraz transportu półtuszy do chłodni. Kolejnym etapem jest rozbiór mięsa na elementy zasadnicze i kulinarne, a następnie peklowanie (podstawowy proces nadawania produktowi smaku, koloru i trwałości).

Potem mięso jest rozdrabnianie, mieszane, formowane z użyciem osłonek, wędzone i poddawane obróbce termicznej. Po schłodzeniu następuje pakowanie, najczęściej w systemie MAP (w atmosferze gazów), co przedłuża trwałość produktu. Na końcu produkty są etykietowane, pakowane w kartony i transportowane do chłodni wyrobów gotowych.

Produkcja kielbasy odbywa się w 14 pomieszczeniach, a pracownicy wykonują łącznie 42 różne czynności, które przyporządkowano do procesów podstawowych i pomocniczych. Wszystkie czynności pogrupowano w trzy główne grupy – czynności transportowe, technologiczne i pozatechnologiczne – a każdą z nich podzielono na czynności ręczne oraz wykonywane z użyciem maszyn i narzędzi.

Analiza wykazała, że największy udział mają czynności transportowe (56% w procesach podstawowych i 59% w procesach pomocniczych), w tym wiele jest wykonywanych ręcznie, w nienaturalnych pozycjach ciała. Przyczyny tego stanu leżą po stronie pracowników (którzy wykonują pracę rutynowo, bez świadomości ergonomicznej), ale też wynikają z organizacji stanowisk pracy (z rozplanowania przestrzeni, braku narzędzi pomocniczych i odpowiednich szkoleń). Na podstawie tej analizy stworzono macierze graficzne, aby przyporządkować czynności do podstawowych i pomocniczych procesów pracy oraz zidentyfikować miejsca wymagające interwencji ergonomicznej i optymalizacji procesu produkcyjnego.

Diagnoza ergonomiczna

Aby dokładnie zrozumieć charakter pracy na stanowisku pakowacza, przeprowadzono kompleksową analizę opartą

na wielokanałowym zapisie audio-wideo z częstotliwością rejestracji 60 klatek/s oraz na precyzyjnej analizie ruchu przy wykorzystaniu zaawansowanego oprogramowania CAPTIV L7000. System ten pozwala na trójwymiarowe odwzorowanie postawy i ruchów pracownika z dokładnością do kilku milimetrów, umożliwiając tworzenie szczegółowych modeli przepływu pracy (*workflow*) oraz analizę czasową i przestrzenną poszczególnych czynności wykonywanych w trakcie typowej zmiany roboczej.

Analiza obejmowała identyfikację wszystkich etapów pracy oraz rejestrację częstotliwości powtarzalnych ruchów, czasu przestojów, amplitudy i kierunku ruchów kończyn górnych, tułowia i dolnych partii ciała.

Szczególnie obciążającym etapem pracy okazała się czynność „złożenia skrzydełek kartonu”, wymagająca powtarzalnych, precyzyjnych ruchów rąk oraz znacznego zaangażowania mięśni przedramion, obręczy barkowej i odcinka lędźwiowego kręgosłupa. Ze względu na charakter ruchów – powtarzalność, zakres sił działających na stawy oraz konieczność utrzymywania statycznych pozycji ciała – zadanie to zostało zakwalifikowane jako istotnie obciążające układ mięśniowo-szkieletowy, wiążące się z ryzykiem wystąpienia urazów oraz przewlekłych przeciążeń.

Ocena ryzyka została następnie uzupełniona o wyniki analizy biomechanicznej przeprowadzonej za pomocą oprogramowania 3DSSPP, które umożliwia trójwymiarową symulację sił działających na mięśnie i stawy podczas wykonywania konkretnych ruchów. Model symulacyjny stworzony w programie 3DSSPP bazował na pomiarach antropometrycznych pracowników (pomiarach długości kończyn, masy ciała i siły chwytu) oraz uwzględniał parametry sił reakcji podłoża i momenty działające na stawach.

Podstawą analizy ergonomicznej było określenie wartości kątowych nadgarstków – w tym celu do oprogramowania zaimplementowano zdjęcia wyodrębnione z nagrania audio-wideo. Następnie przeprowadzono modelowanie, odtwarzając cechy antropometryczne pracownika wraz z zajmowaną przez niego pozycją przy pracy, ze szczególnym uwzględnieniem kończyn górnych (rys. 3). Badania potwierdziły, że dłonie pracownika znajdowały się w pozycji krytycznej: prawy nadgarstek w uniesieniu grzbietowym – wychylenie 21°, lewy nadgarstek w zgięciu – wychylenie 63°. Dodatkowo dłonie były obciążone rotacją rąk, co pogłębiało dyskomfort pracy i mogło prowadzić do powstawania dolegliwości oraz urazów kończyn górnych.

Wyniki symulacji pozwoliły na precyzyjne określenie poziomu obciążeń w poszczególnych stawach i grupach mięśniowych, wskazując na konieczność wdrożenia działań korygujących, takich jak: poprawa warunków pracy, redukcja powtarzalności ruchów oraz optymalizacja organizacji pracy w celu ograniczenia przeciążeń i ryzyka urazów układu mięśniowo-szkieletowego.

Działania usprawniające i efekty ich wdrożenia

Wstępne warianty reorganizacji pracy na stanowisku pakowacza, opracowane na podstawie wyników wcześniejszej analizy biomechanicznej i modelowania przepływu pracy [18–25], przetestowano w warunkach laboratoryjnych, do czego wykorzystano symulację stanowiska pracy oraz rejestrację ruchu za pomocą systemu CAPTIV L7000. Dzięki temu można było porównać, z dużą dokładnością, efektywność różnych rozwiązań, zanim postanowiono je wdrożyć w zakładzie produkcyjnym. Testy obejmowały zarówno pomiary czasu cykli operacyjnych, jak i rejestrowanie kątów zgięć stawów oraz poziomu napięcia mięśniowego.

Spśród opracowanych wariantów reorganizacji pracy wybrano najbardziej efektywny, który zakładał wdrożenie kilku kluczowych zmian, takich jak:

- zmiana organizacji stanowiska pracy – przearanżowano układ elementów roboczych, aby zminimalizować zbędne ruchy ramion i tułowia, skracając dystans pokonywany przez pracownika podczas operacji pakowania;
- dostosowanie wysokości powierzchni roboczej – powierzchnie robocze oraz miejsca odkładcze kartonów i komponentów dopasowano do wymiarów antropometrycznych pracowników, co ograniczyło konieczność nadmierne go zginania tułowia oraz unoszenia ramion powyżej poziomu barków;
- instruktaż ergonomiczny – pracownicy przeszli szczegółowy trening (wspierany przez wizualizacje i demonstracje wideo), który obejmował prawidłowe wzorce ruchu, techniki chwytu i układania kartonów oraz zasady minimalizowania obciążenia mięśniowo-szkieletowego [26, 27].

Po wdrożeniu proponowanych zmian przeprowadzono ponowną ocenę stanowiska pracy, wykorzystując do tego metody ilościowe (uwzględniano czas operacyjny, liczbę powtarzalnych ruchów, kąty zgięć stawów, poziom napięcia mięśniowego) i jakościowe (ankiety i wywiady z pracownikami oraz kadrą zarządzającą).

Wyniki oceny potwierdziły:

- znaczną redukcję czasu operacyjnego – średni czas cyklu pakowania skrócił się o ok. 15–20%, co świadczy o wzroście wydajności pracy;
- poprawę komfortu pracy – pracownicy zgłaszali mniejsze zmęczenie oraz większą swobodę ruchów podczas wykonywania zadań;
- redukcję fizycznego obciążenia – zmniejszenie częstotliwości powtarzalnych ruchów, ograniczenie konieczności zginania tułowia oraz obniżenie napięcia mięśniowego w obrębie nadgarstków, barków i odcinka lędźwiowego kręgosłupa.

Łącznie wprowadzone działania skutkowały zarówno wzrostem efektywności operacyjnej, jak i poprawą warunków pracy na stanowisku, co przyczynia się do ograniczenia ryzyka wystąpienia urazów układu mięśniowo-szkieletowego oraz do zwiększenia satysfakcji pracowników z wykonywanej pracy.

Zastosowanie systemów wspomagających

W całym procesie badawczym i wdrożeniowym szczególną rolę odegrał system Motion Capture, który posłużył do szczegółowej analizy wzorców ruchowych pracowników realizujących czynności produkcyjne. Dzięki precyzyjnemu pomiarowi ruchów w trójwymiarowej przestrzeni zidentyfikowano powtarzalne, nieergonomiczne zachowania, które mogłyby prowadzić do przeciążeń i urazów układu mięśniowo-szkieletowego oraz do długotrwałego spadku wydajności pracy. Dane uzyskane w ten sposób wykorzystano do stworzenia dynamicznej mapy aktywności ruchowej, zawierającej informacje o zakresie, częstotliwości i czasie trwania poszczególnych ruchów. Taka mapa jest cennym narzędziem nie tylko w analizach ergonomicznych, lecz także w dydaktyce – umożliwia szkolenie nowych pracowników w zakresie prawidłowych wzorców ruchu i zachowań oraz wspiera proces standaryzacji pracy.

System Motion Capture zapewniał też czasową rejestrację i wizualizację sekwencji działań, co znacznie ułatwiało identyfikację błędów operacyjnych i wdrożenie działań profilaktycznych, eliminujących niepożądane nawyki ruchowe. Dzięki temu możliwe było zwiększenie bezpieczeństwa pracy i lepsze dostosowanie środowiska do indywidualnych psychofizycznych możliwości pracowników.

Zaletami systemu Motion Capture są elastyczność i szeroki zakres zastosowania. Może on być używany okresowo, np. podczas adaptacji zawodowej

nowych pracowników, jak i incydentalnie – w przypadku wykonywania diagnozy ergonomicznej (po zaobserwowaniu incydentów) lub wprowadzania zmian organizacyjnych. Ponadto system wspiera ciągle doskonalenie procesów, dostarczając dane do oceny skuteczności wdrożonych korekt.

Wnioski ze studium przypadku

Omówione w artykule studium przypadku potwierdziło, że integracja czynników ergonomicznych z projektowaniem *workflow* ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia poprawy efektywności procesów produkcyjnych. Opracowany model *workflow* skutecznie łączy dane ilościowe i jakościowe w czasie, uwzględniając złożone determinanty środowiska pracy: aspekty fizyczne (np. obciążenia mięśniowe), organizacyjne (np. sposób organizacji pracy) czy kognitywne (np. wymagania uwagi i koncentracji). Wdrożenie praktycznego modelu *workflow*, wspieranego nowoczesnymi systemami analitycznymi i diagnostycznymi, pozwoliło na optymalizację sekwencji czynności roboczych i znaczące skrócenie czasu realizacji operacji technologicznych. Poprawie uległy też warunki pracy – zarówno pod względem ergonomii fizycznej (redukcja obciążenia), jak i percepcyjnej (zwiększenie komfortu psychicznego pracowników). Efekty te zostały wysoko ocenione przez zespół pracowników i kierownictwo.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania dowiodły, że efektywna integracja zasad ergonomii z projektowaniem *workflow* stanowi kluczowy czynnik sprzyjający zwiększeniu efektywności procesów produkcyjnych oraz znaczącej poprawie warunków pracy. Wdrożenie kompleksowego podejścia, łączącego optymalizację środowiska fizycznego z analizą i usprawnianiem przepływów pracy, przynosi wymierne korzyści pracownikom i całej organizacji.

Kluczowe elementy tego podejścia obejmują:

- ciągłe monitorowanie warunków pracy – systematyczna obserwacja i analiza stanowisk pracy umożliwiają szybkie wykrywanie zagrożeń i nieprawidłowości oraz pozwalają na podejmowanie działań korekcyjnych jeszcze przed pojawieniem się poważniejszych problemów zdrowotnych lub organizacyjnych. Regularny monitoring, wsparty nowoczesnymi narzędziami diagnostycznymi, takimi jak Motion Capture, pozwala utrzymać optymalne

standardy ergonomiczne i zapobiegać powstawaniu urazów;

- szkolenie kadry w zakresie ergonomii i *workflow* – edukacja pracowników i kadry zarządzającej jest nieodzownym elementem budowania świadomej i odpowiedzialnej kultury pracy. Szkolenia umożliwiają poznanie prawidłowych wzorców ruchu oraz zasad organizacji pracy i bezpiecznego wykonywania zadań, co z kolei przekłada się na redukcję ryzyka wystąpienia dolegliwości mięśniowo-szkieletowych i zwiększenie produktywności;
- wykorzystanie narzędzi cyfrowych do oceny ryzyka i projektowania pracy – zaawansowane technologie, takie jak Motion Capture, oprogramowanie analityczne CAPTIV L7000 czy 3DSSPP, umożliwiają precyzyjną ocenę zagrożeń, modelowanie stanowisk oraz optymalizację procesów. Tego rodzaju narzędzia nie tylko dostarczają danych diagnostycznych, lecz także wspierają procesy szkoleniowe i pozwalają na dynamiczną ewaluację wdrożonych usprawnień;
- kształtowanie kultury bezpieczeństwa przy zaangażowaniu pracowników – aktywne uczestnictwo zespołu w identyfikacji problemów i proponowaniu rozwiązań zwiększa świadomość zagrożeń oraz motywację do przestrzegania zasad ergonomii. Tworzenie otwartego dialogu i atmosfery współpracy między pracownikami a kierownictwem sprzyja wdrażaniu trwałych zmian i podnoszeniu standardów bhp. Zaproponowany w badaniach model *workflow* ma uniwersalny charakter i jest elastyczny, więc może zostać zaadaptowany w innych przedsiębiorstwach przemysłowych, m.in. w sektorach motoryzacyjnym, chemicznym, górniczym czy logistycznym. Stanowi zatem solidną podstawę do budowania ergonomicznych i efektywnych środowisk pracy, dostosowanych do wyzwań współczesnej gospodarki opartej na wiedzy i kapitale ludzkim.

Podsumowując, kompleksowe podejście do projektowania stanowisk pracy i organizacji procesów produkcyjnych, oparte na integracji ergonomii z *workflow*, przynosi wymierne korzyści zdrowotne i organizacyjne, wspierając długofalowy rozwój przedsiębiorstw oraz jakość życia zawodowego pracowników.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bartnicka J., *Badanie i kształtowanie warunków pracy w organizacjach opieki zdrowotnej*, rozprawa doktorska, Politechnika Śląska, 2006, s. 55–90.
- [2] Rubenowitz S., *Survey and intervention of ergonomic problems at the workplace*, „International Journal of Industrial Ergonomics”, 1997, 19(3): 271–275.
- [3] Punnett L., Wegman D.H., *Work-related musculoskeletal disorders: The epidemiologic evidence and the debate*, „Journal of Electromyography and Kinesiology”, 2004, 14(1): 13–23; doi: 10.1016/j.jelekin.2003.09.015.
- [4] Górka E., *Elastyczny system oceny poziomu organizacji stanowisk roboczych*, rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, 1993, s. 15–65.
- [5] Neumann W.P. i in., *Production system design elements influencing productivity and ergonomics: A case study of parallel and serial flow strategies*, „International Journal of Operations & Production Management”, 2006, 26(8); doi: 10.1108/01443570610678666.
- [6] Gonzalez V.A., Maropoulos P.G., Srinivasan R., *Workflow optimisation in manufacturing systems: A review of methodologies and applications*, „Robotics and Computer-Integrated Manufacturing”, 2018, 50: 1–17.
- [7] Leamon T.B., *The organisation of industrial ergonomics – A human-machine model*, „Applied Ergonomics”, 1980, 11(4): 223–226.
- [8] Kabiesz P., Bartnicka J., *Modern training methods in the field of occupational safety*, [w:] L. Gomez Chova, A. Lopez Martinez, I. Candel Torres (red.), *Proceedings of 12th International Conference of Education, Research and Innovation: ICERI 2019*, Seville, Spain, IATED Academy.
- [9] Kabiesz P., Bartnicka J., *Spatial analysis of the availability of health and social services for people with special needs*, [w:] P. Hąbek (red.), *Multidisciplinary aspects of production engineering: Monograph* (T. 4), Walter de Gruyter (Sciendo); doi: 10.2478/mape-2021-0040.
- [10] van der Aalst W.M.P., van Hee K.M., *Workflow management: models, methods and systems*, BETA publicatie: *working papers*, vol. 52, Technische Universiteit Eindhoven, 2001.
- [11] Marras W.S., Karwowski W. (red.), *The occupational ergonomics handbook: Fundamentals and assessment tools for occupational ergonomics*, 2nd ed., CRC Press, 2006, s. 23–56, 112–130.
- [12] Dul J., Weerdmeester B., *Ergonomics for beginners: A quick reference guide*, 3rd ed., CRC Press, 2008, s. 45–78, 102–110.

- [13] Rybníkář F. i in., *Ergonomics evaluation using motion capture technology – Literature review*, „Applied Sciences”, 2023, 13(1): 162; doi: 10.3390/app13010162.
- [14] Kowalik K., *Diagram Ishikawy w teorii i praktyce zarządzania jakością*, „Archiwum Wiedzy Inżynierskiej”, 2018, 3(1): 15–17.
- [15] CAPTIV L7100, TEA, France; <https://www.tea-ergo.com>.
- [16] 3DSSPP: 3D Static Strength Prediction Program Version 7.1.0, The University of Michigan Center for Ergonomics, 2020; <https://c4e.engin.umich.edu/tools-services/3dsspp-software>.
- [17] Kabiesz P., Bartnicka J., *Ergonomic and workflow study of sausage production process in the context of manual transport tasks*, [w:] *Proceedings of MAPE 2018: XV International Conference Multidisciplinary Aspects of Production Engineering*, Zawiercie, Wydawnictwo PANOVA; doi: 10.2478/mape-2018-0088.
- [18] Kabiesz P., *Ocena stanu zdrowia pracowników w zakładzie mięsnym*, [w:] Z. Burtan, M. Kapusta (red.), *Bezpieczeństwo Pracy – edukacja i dobre praktyki*, Agencja Wydawniczo-Poligraficzna „Art-Tekst”, 2019.
- [19] Kabiesz P., *Assessment of working conditions in food industry companies – case study*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Organizacja i Zarządzanie”, 2024, art. 197; doi: 10.29119/1641-3466.2024.197.13.
- [20] Kabiesz P., Tutak M., *Developing a culture of safety for sustainable development and public health in manufacturing companies – case study*, 2024, 16, art. 17; doi: 10.3390/sul16177557.
- [21] Kabiesz P., *Safety culture in SMEs of the food industry: a case study and best practices*, „Sustainability”, 2024, 16, art. 24; doi: 10.3390/sul16241185.
- [22] Kabiesz P., *The impact of safety training frequency on the level of safety*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Organizacja i Zarządzanie”, 2024, art. 204; doi: 10.29119/1641-3466.2024.204.10.
- [23] Kabiesz P., *Workflow modelling and patterns of activities in production company*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Organizacja i Zarządzanie”, 2024, art. 197; doi: 10.29119/1641-3466.2024.197.14.
- [24] Bartnicka J., Jamil T., Kabiesz P., *Safety culture in global research: a systematic literature review*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Organizacja i Zarządzanie”, 2023, art. 178, doi: 10.29119/1641-3466.2023.178.4.
- [25] Kabiesz P., Bartnicka J., *Ergonomics and efficiency in a new attempt to model work processes*, [w:] K. Midor (red.), *Multidisciplinary aspects of production engineering: Monograph. Social Sciences*, T. 3, Walter de Gruyter (Sciendo), 2020; doi: 10.2478/mape-2020-0054.
- [26] Kabiesz P., Bartnicka J., *Innowacyjne metody szkoleniowe w dziedzinie bezpieczeństwa pracy*, „Atest. Ochrona Pracy”, 2020, 3.
- [27] Kabiesz P., *Wpływ komunikacji w organizacji na poprawę kultury bezpieczeństwa w przedsiębiorstwie produkcyjnym*, [w:] J. Brodny, A. Wiczorek (red.), *Wybrane elementy zarządzania procesami produkcyjnymi. Praca zbiorowa*, Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2019.

**KWARTALNIK
POŚWIĘCONY
ZAGADNIENIOM
BEZPIECZEŃSTWA
I OCHRONY ZDROWIA
ORAZ ERGONOMII
W ŚRODOWISKU
PRACY**

INTERNATIONAL JOURNAL OF

JOSE

Occupational Safety and Ergonomics

