

dr hab. inż. Dariusz Plinta
Katedra Inżynierii Produkcji
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

DOSKONALENIE STANOWISK PRACY Z WYKORZYSTANIEM NARZĘDZI KOMPUTEROWYCH WSPOMAGAJĄCYCH MODELOWANIE STANOWISK I ANALIZY OBCIĄŻENIA PRACOWNIKÓW

Komputerowe modelowanie i symulacja znajduje szerokie zastosowanie w doskonaleniu systemów produkcyjnych, jakim są stanowiska pracy. Systemy produkcyjne są na tyle złożonymi systemami, że bez komputera niemożliwa jest szczegółowa analiza zachodzących w nich procesów. W poniższym artykule przedstawiono metodologię postępowania w projektach usprawnień stanowisk produkcyjnych z wykorzystaniem pakietów wspomagających analizy obciążenia organizmu pracowników.

IMPROVEMENT OF WORKPLACES WITH APPLICATION OF COMPUTER TOOLS SUPPORTING MODELING OF WORKPLACES AND DUTY ANALYSIS OF WORKERS

The computer modelling and simulation finds wide usage in the improvement of production systems like workplaces. Production systems are so complex, that without computer it is not possible to realize detailed analysis of processes taking place in them. The methodology for projects of workplaces improving with application of the software supporting duty analysis of the human body is presented in this paper.

1. WPROWADZENIE

Proces doskonalenia stanowisk pracy powinien być procesem ciągłym. Rozpoczyna się od zaprojektowania nowego stanowiska z uwzględnieniem wymagań określonych w różnych przepisach, normach oraz rozporządzeniach. Na zaprojektowane i utworzone stanowisko zatrudniany jest pracownik, który stopniowo dochodzi do coraz większej wprawy podczas wykonywania swoich prac [1]. Jest on najlepszym źródłem propozycji usprawnień, dlatego powinien być członkiem zespołu, który będzie doskonalił istniejące stanowiska.

Analizy funkcjonowania stanowisk pracy i ich usprawnianie obejmuje szereg kolejno następujących po sobie lub realizowanych współbieżnie działań. Proponowane usprawnienia często charakteryzują się wielością rozwiązań. Spośród wszystkich istniejących rozwiązań można wyodrębnić zbiór możliwych do realizacji, z których należy wyeliminować nie perspektywiczne czyli te, które nie doprowadzą do zadawalającego rozwiązania.

Na skutek przeprowadzenia oceny zaproponowanych wariantów, możliwe jest wyselekcjonowanie rozwiązania optymalnego pod względem odpowiednio dobranych kryteriów (kosztu, czasu i jakości). Wybrane rozwiązanie konstrukcyjne wyrobu często umożliwia zrealizowanie procesu wytwarzania różnymi metodami wytwórczymi, różnymi obrabiarkami, przy różnych parametrach procesu obróbki, a w efekcie przy różnych kosztach, różnym czasie i jakości uzyskanej w procesie wytwarzania.

Punktem wyjściowym dla wprowadzenia usprawnień powinna być formułowana przez kierownictwo strategia doskonalenia procesów wytwarzania. Coraz większą uwagę zwraca

się na organizację procesów wdrożeniowych oraz zastosowanie nowoczesnych narzędzi informatycznych [3, 4].

Najczęściej formułowanymi zaleceniami przy realizacji projektów, a między innymi przy doskonaleniu stanowisk pracy, są następujące wskazówki:

- należy obciążyć kierownictwo firmy odpowiedzialnością za realizację usprawnień
- należy doprowadzić do ścisłego powiązania z sobą działów realizujących projekt usprawnień
- projekt powinien realizować zespół pracowników posiadających odpowiednie kwalifikacje, wiedzę i doświadczenie, dysponujący czasem i niezbędnymi środkami
- należy opracować procedury, umożliwiające sprawny przepływ informacji oraz podejmowanie decyzji
- należy opracować system planowania, organizowania i kontrolowania działań związanych z realizacją projektu.

2. ETAPY REALIZACJI PROJEKTU USPRAWNIEŃ

Każdy projekt, którego celem jest udoskonalenie procesu produkcyjnego składa się z szeregu opisanych poniżej działań, które przedstawiono również na rys. 1.

Opracowanie koncepcji zadania

W ramach przygotowania projektu wychodząc z pomysłu, określa się jego uzasadnienie, weryfikuje się trafność początkowych sformułowań i spójność pomysłu. Stosowane metody i środki to: analiza otoczenia, wymiana poglądów, poszukiwanie danych, analiza podobnych projektów. W ramach tego etapu określa się skład i role uczestników procesu projektowego.

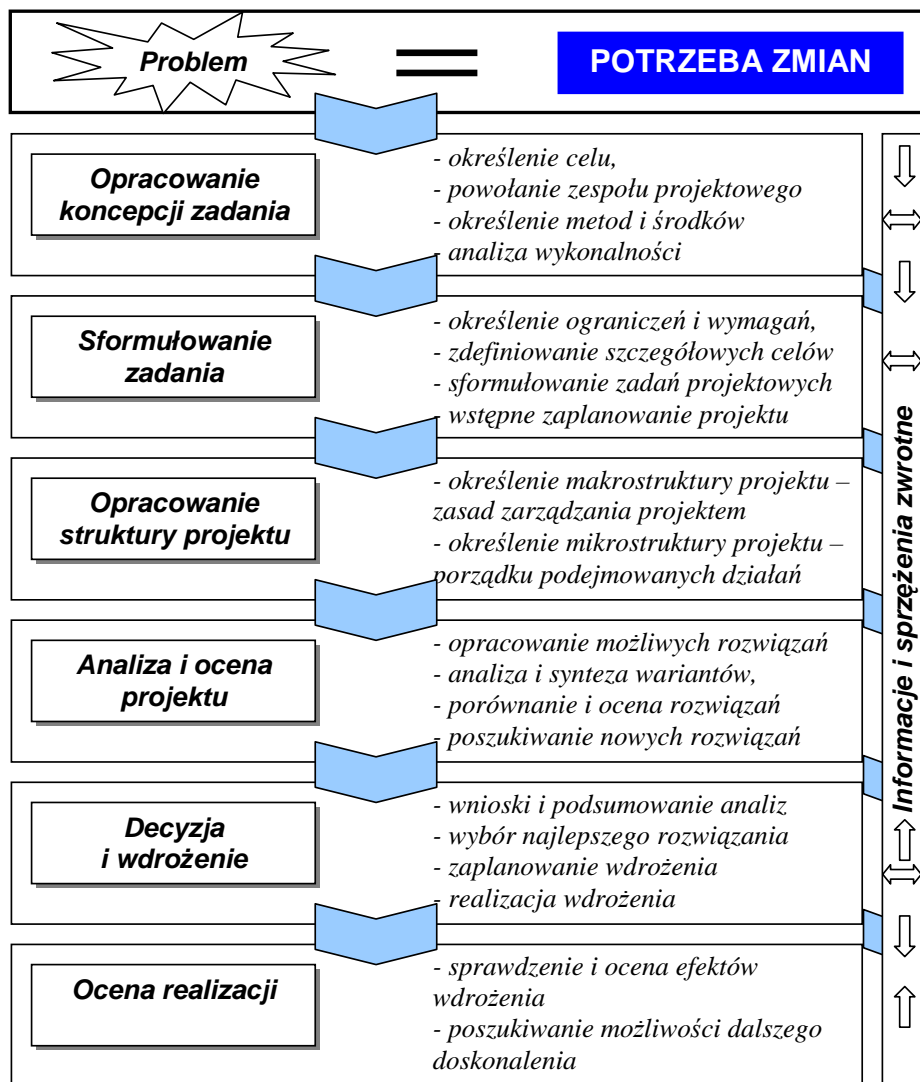
Jednym z pierwszych działań jest analiza wykonywalności. Stanowi ona pierwszą ocenę rodzących się propozycji. Dotyczy ona istoty ryzyka technologicznego, koniecznych prac rozwojowych i aplikacyjnych, rzędu wielkości wymaganych inwestycji, podstawowych kosztów wytwarzania i prawdopodobnych zysków z zastosowania nowej technologii. Strategia wytwarzania dostarcza kryteriów, za pomocą których można oceniać przedstawione propozycje. Jest to najkorzystniejszy okres dla rozważenia zarówno alternatywnych technologii i procesów, jak i poziomów preferowanych technologii i systemów. Analiza wykonalności jest często nieoficjalną formą działania; znaczące zasoby organizacyjne mogą zostać zaangażowane dopiero po zatwierdzeniu wykonalności i nadaniu badaniom statusu projektowania. Jest to główny etap, w którym metoda modelowania i symulacji powinna znaleźć zastosowanie.

Sformułowanie zadania

Na tym etapie procesu projektowego w sposób precyzyjny formułuje się projekt usprawnienia procesu produkcyjnego, określa się ograniczenia i wymagania projektu, wyróżnia się cele nadrzędne i cele szczegółowe projektu dla prezentacji i uzgodnień z decydentami. Sformułowanie zadania realizowane jest wg kolejno następujących faz: analiza i synteza, planowanie prac projektowych, ilościowy opis zadania. Konieczne jest tu określenie obecnego stanu analizowanego systemu.

Opracowanie struktury projektu

W każdym projekcie muszą być jasno określone zasady realizacji kolejnych etapów projektu, czyli procedury zarządzania projektem. W ramach opracowania struktury projektu przeprowadza się analizę, efektem której jest określenie struktury projektu (rozłożenie w czasie całego przedsięwzięcia, jego kontrola, rozliczanie, kierowanie, hierarchizacja zadań, podział zadań, podejmowanie decyzji, dostarczanie informacji).



Rys.1. Etapy projektów doskonalenia systemów produkcyjnych

Analiza i ocena projektu

Etap ten zawiera zagadnienia poszukiwania rozwiązań procesu zgodnie z określoną w poprzednim punkcie strukturą, ocenę rozwiązań i wysunięcie wniosków dla decydentów. Zaproponowane rozwiązania można zamodelować. Poprzez symulację komputerową można przeanalizować przyszłe zachowanie się systemu produkcyjnego z punktu widzenia przyjętych kryteriów, np. czasu, kosztów, czy jakości. W ten sposób można ocenić i porównać kilka zaproponowanych wariantów rozwiązań. Wyniki symulacji są źródłem informacji niezbędnych do podjęcia decyzji, którą należy podjąć w kolejnym etapie projektu.

Decyzja

Zagadnienie wyboru sprowadza się do gromadzenia i przetwarzania informacji, której celem jest podjęcie decyzji. Podjęte decyzje mogą być różne. Najczęściej jest to wybór wariantu z zaproponowanych rozwiązań, który zostanie zrealizowany. Występują również takie sytuacje, gdy żadne z zaproponowanych rozwiązań nie spełnia przyjętych wymagań. Wówczas należy powrócić do jednego z wcześniejszych etapów realizacji projektu na

przykład w celu ponownego sformułowania zadania, weryfikacji ograniczeń i wymagań, poszukania nowych rozwiązań, lub zmiany funkcji celu.

Wprowadzenie w życie

Po wyborze wariantu rozwiązania projektowego następuje faza realizacji. W etapie tym istnieje jeszcze możliwość sprawdzenie rozwiązania, ale koszty wprowadzania zmian w projekcie są dużo większe niż w wcześniejszych etapach.

Wdrożenie jest to etap, w którym projekt zostaje zrealizowany (rozpoczynając od fazy prototypu, serii próbnych aż do produkcji). Na tym etapie uzyskujemy rzeczywiste dane o wyrobie - przedmiocie projektu, dzięki którym staje się możliwa faza oceny.

Ocena realizacji

Jest to bieżąca ocena realizowanego projektu dla podjęcia decyzji dotyczącej dalszych działań w stosunku do usprawnianego systemu produkcyjnego. Decyzja ta powinna wynikać z oceny dokonanej z punktu widzenia klienta.

Informacje i sprzężenia zwrotne

Przepływ informacji i sprzężenia zwrotne są niezbędne przy realizacji każdego projektu i występują stale niezależnie od etapu realizacji projektu.

Ciągłe doskonalenie systemów produkcyjnych staje się obecnie standardem w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Efektem tego jest również rozwój narzędzi informatycznych wspomagających modelowanie stanowisk pracy, planowanie wykorzystania przestrzeni produkcyjnej, symulację zachodzących w nich procesów oraz ich analizy pod kątem organizacji pracy, a w tym obciążenia pracowników [2]. Ilustruje to przykład opisany w dalszej części artykułu.

3. PRZYKŁADY ANALIZY STANOWISKA MONTAŻOWEGO

Przykład dotyczy stanowiska montażu ręcznego silnika spalinowego, na którym występuje istotne obciążenie organizmu pracownika związane z ręcznym przenoszeniem i łączeniem montowanych elementów. Celem analizy było wyodrębnienie czynności, które w największym stopniu obciążają organizm pracownika. Określono ten wpływ, wykorzystując oprogramowanie wspomagające analizy ergonomiczne (Ergo Max i Catia Human Posture Analysis) [5]. Analiza ta była podstawą do sformułowania wniosków oraz do propozycji zmian usprawniających wykonywaną pracę.

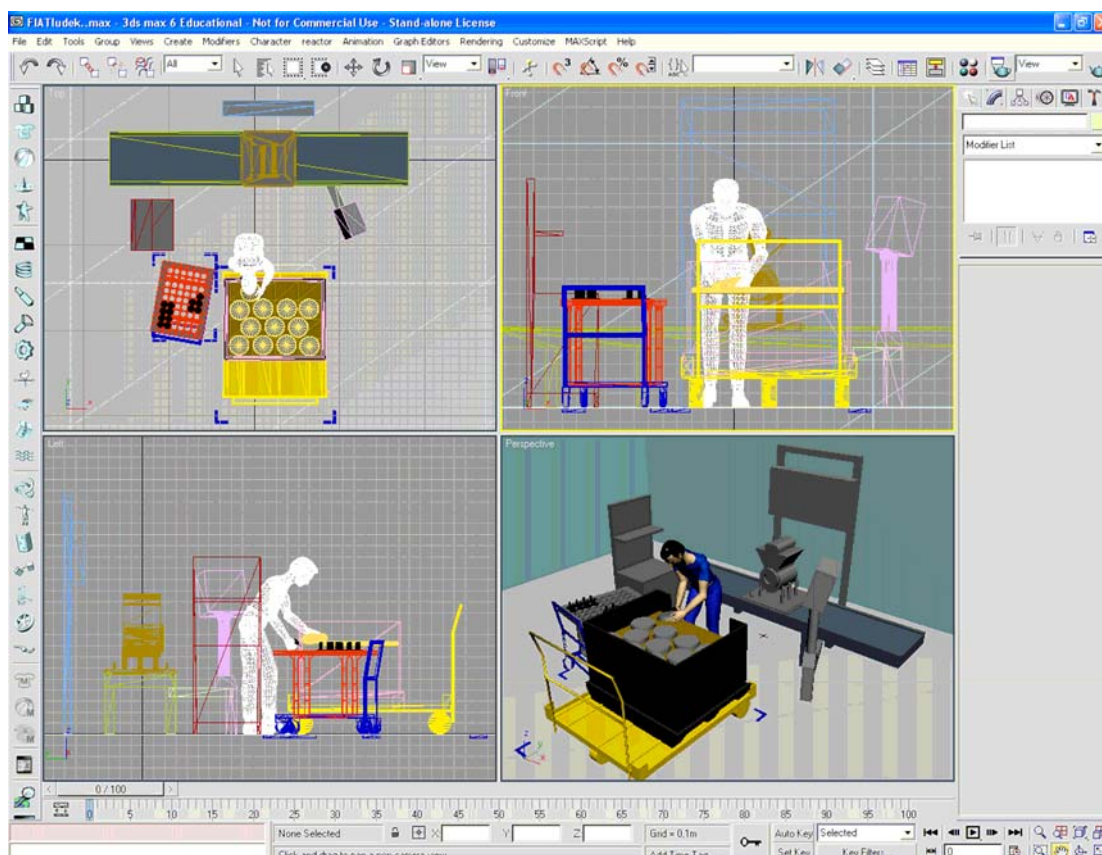
Na analizowanym stanowisku realizowany jest proces, który opisuje przedstawiona na rys. 2 karta przebiegu materiału. Na podstawie analizy danych zawartych w karcie wysunięto pierwsze wnioski dotyczące usprawnień. Najważniejszym elementem wymagającym poprawy na stanowisku pracy jest czas oczekiwania, który jest zbyt długi.

Biorąc pod uwagę uwarunkowania ergonomiczne działania dotyczące poprawy stanowiska pracy dotyczyły analizy obciążenia kręgosłupa przy pobieraniu elementów z pojemników, a zwłaszcza przy pobieraniu elementów ze spodu pojemnika.

| L.p. | element procesu | odl. [m] | czas [s] | symbol | | | | | | uwagi |
|------|--|------------|-------------|--------|---|---|---|---|---|--------------------------------------|
| | | | | O | o | □ | ⇨ | D | ▽ | |
| 1 | Pobranie tarczy | | 1 | | × | | | | | |
| 2 | Pobranie trzpienia | | 1 | | × | | | | | |
| 3 | Łączenie trzpienia i tarczy | | 2 | × | | | | | | |
| 4 | Przeniesienie | 0,5 | 1 | | | | × | | | |
| 5 | Montaż elementów (sprzęgła) do silnika | | 3 | × | | | | | | |
| 6 | Zatwierdzenie (zwolnienie stanowiska) | | 1 | | × | | | | | |
| 7 | Oczekiwanie | | 15 | | | | | × | | oczekiwanie na zwolnienie stanowiska |
| 8 | Podejście po następane elementy | 0,5 | 1 | | | | × | | | |
| | | Σ 1 | Σ 25 | | | | | | | |

Rys. 2. Karta przebiegu materiału dla analizowanego stanowiska pracy

Wykorzystując oprogramowanie ErgoMax (rys. 3) wykonano analizę obciążenia dla wybranych działań, tj. dla pobrania tarczy (dla dwóch przypadków – niepełna i pełna paleta), pobranie trzpienia oraz montaż pobranych części na silniku.

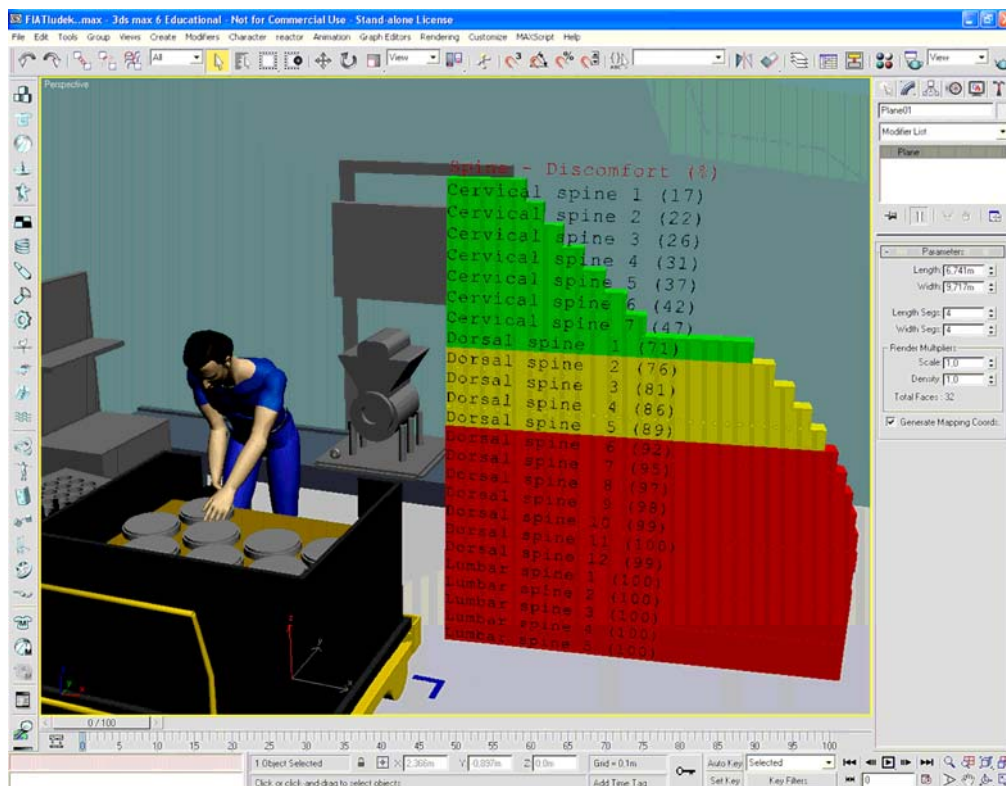


Rys. 3. Model stanowiska montażu silnika

Program ErgoMax pozwala budować modele postaci ludzkich z uwzględnieniem takich parametrów jak narodowość, wiek, płeć, typ ciała, proporcjonalność ciała, cechy somatyczne oraz zmienność cech populacji. Parametry określone dla analizowanego stanowiska zestawiono w tab. 1.

Tab. 1. Charakterystyka pracownika oraz opis wykonywanych przez niego czynności

| | |
|---|---|
| Stanowisko pracy: | Stanowisko montażu silnika |
| Płeć pracownika: | mężczyzna |
| Wiek: | od 20 do 24 lat |
| Narodowość: | Europejczyk - ta cecha nie ma żadnego znaczenia jeśli chodzi o analizę ergonomiczną pracownika, dlatego w każdym wariantcie ta narodowość będzie się powtarzać |
| Percentil (centyl): | 50 – centyl |
| Waga używanego wyrobu, narzędzia: | w lewej ręce: tarcza – 5 kg w prawej ręce: trzpień – 0,5 kg |
| Opis wykonywanej czynności przez pracownika: | Pracownik lewą ręką pobiera tarczę a następnie prawą ręką pobiera trzpień. Oba elementy łączy, przenosi i montuje na silniku. Następnie zwalnia stanowisko, oczekuje na przejście silnika na następne stanowisko. |
| Opis stanowiska pracy względem pracownika: | Stanowisko pracy wymaga poprawy ze względu na położenie palety z tarczami. Obciążenie kręgosłupa w momencie pobierania elementu przekracza dopuszczalne wartości obciążenia, zwłaszcza gdy elementy pobierane są z dna pojemnika. |

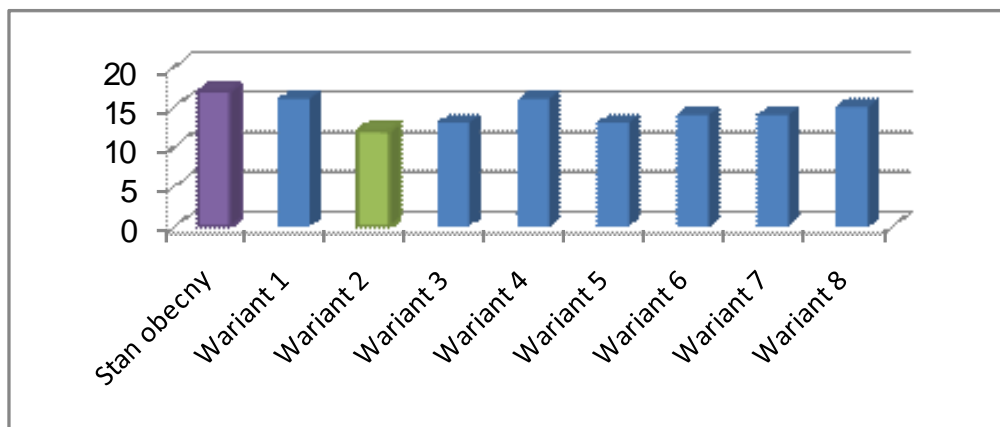


Rys. 4. Wykres obciążenia kręgosłupa wg dyskomfortu

Rys. 4 przedstawia przykładowy wykres obciążenia kręgosłupa dla pozycji związanej z pobieraniem tarczy z pełnego pojemnika. Obciążenie to jest odniesione do poziomu dyskomfortu wyrażonego w procentach. Do 75 % (kolor zielony) obciążenie jest dopuszczalne, powyżej od 75 % do 90 % (kolor żółty) zasugerowane są zmiany, natomiast powyżej 90 % (kolor czerwony) występuje przekroczenie dopuszczalnych obciążeń.

Z powyższej analizy wynika, iż mężczyzna (20-24 lata) o parametrach 50-centyli wykonujący czynność pobierania elementów tarczy z pełnej palety charakteryzuje się niewłaściwym pochyleniem ciała, co powoduje częściowe obciążenie górnych kręgów piersiowych i niedopuszczalne obciążenie kręgów piersiowych dolnych i kręgosłupa na całym odcinku lędźwiowym.

Na podstawie wyników powyższej analizy zaproponowano szereg usprawnień mających na celu zmniejszenie obciążenia dolnych części kręgosłupa. Zaproponowano przykładowo następujące usprawnienia: dostarczanie skompletowanych tarcz z trzpieniami, dodatkowe stanowisko przygotowania elementów do montażu, pakowanie tarcz razem z trzpieniami, podnośnik palety, utworzenie stanowisk wcześniejszego kompletowania części na paletach, czy zainstalowanie robota na stanowisku. Zaproponowane zmiany wprowadzono do modelu i porównano uzyskane wyniki (rys. 5). Efektem porównania było wskazanie najlepszego rozwiązania.

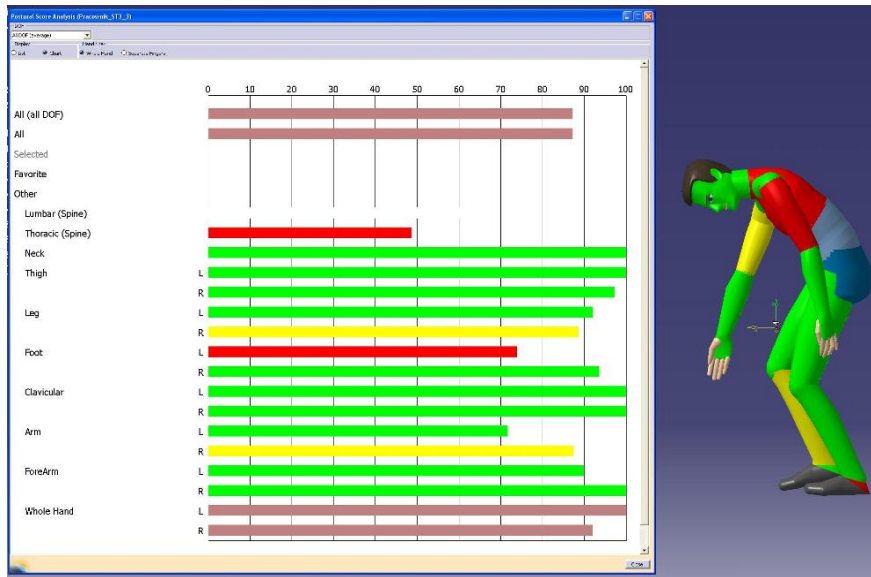


Rys. 5. Porównanie zaproponowanych zmian na podstawie oceny punktowej

Do oceny wariantów wprowadzono system punktowy uwzględniający zmianę obciążenia pracownika oraz koszty inwestycji. Najlepszym wariantem jest ten, który uzyskał najmniejszą liczbę punktów – wariant 2 z dodatkowym stanowiskiem przygotowania części do montażu. Wariant z robotem został pominięty ze względu na całkowite wyeliminowanie pracy ręcznej i zbyt duże koszty inwestycji.

Istnieje możliwość łączenia zmian opisanych w różnych wariantach co sprawia, że wszystkich możliwych wariantów jest więcej.

Innym programem, w którym można przeprowadzić podobne analizy obciążenia organizmu pracownika jest moduł Human Posture Analysis w pakiecie Catia. Na rys. 6 przedstawiono wykres do analizy punktowej dla pozycji związanej z wyjmowaniem elementów ze spodu pojemnika. Wynika z niego zbyt duże przeciążenie odcinka piersiowego kręgosłupa oraz przeciążenie ramion (kolor czerwony na wykresie i rysunku postaci). Wynik analizy sugeruje natychmiastową zmianę pozycji.



Rys. 6. Wykres obciążenia organizmu pracownika przy wyjmowaniu elementów z dna pojemnika

4. PODSUMOWANIE

Projektowanie stanowisk pracy i ich późniejsze doskonalenie powinno być realizowane zgodnie z ustalonymi procedurami. Każdy zakład powinien sam opracować własne procedury dostosowane do uwarunkowań, w jakich funkcjonuje. Przykładowe etapy projektów usprawnień opisano w pierwszej części artykułu.

Analiza prac wykonywanych na stanowisku powinna obejmować ocenę warunków pracy – obciążenia organizmu pracownika, oświetlenia, hałasu, temperatury, itp. Ze względu na duże zróżnicowanie cech zatrudnianych pracowników najtrudniej jest określić obciążenie organizmu. Można tu jednak skorzystać z programów, które wspomagają tego typu analizy. Przytoczony przykład doskonalenia stanowiska pracy ukazuje możliwości takich programów. Usprawnianie stanowisk pracy ma zatem na celu tworzenie miejsc pracy przyjaznych zatrudnionym osobom. Odpowiednio ukształtowane stanowisko pracy powinno spełniać swoje zadanie i być wygodne w użytkowaniu.

LITERATURA

- [1] Górka E., Lewandowski J.: Podstawy zarządzania i kształtowania środowiska pracy. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
- [2] Matuszek J., Plinta D., Kubica S., Ścieszka D.: Modelowanie i symulacja procesów produkcyjnych z punktu widzenia ergonomii i bezpieczeństwa pracy. Materiały z konferencji MKEN2008, Łódź 2008.
- [3] Plinta D.: Doskonalenie procesów produkcyjnych z wykorzystaniem narzędzi do komputerowej wizualizacji. PAR – Pomiary-Automatyka-Robotyka Nr 2 2009.
- [4] Winkler T.: Komputerowo wspomagane projektowanie systemów antropotechnicznych, WNT Warszawa 2005.
- [5] Materiały szkoleniowe pakietów Anthropos Ergo MAX i Catia Human Posture Analysis.