



SYMULACJA, WIZUALIZACJA I RACJONALIZACJA SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH

Sławomir Kukla

University of Bielsko-Biala, Faculty of Mechanical Engineering and Computer Science, Poland

Corresponding author:

Sławomir Kukla

Department of Industrial Engineering

University of Bielsko-Biala

Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biala, Polska

phone: +48 33 8279253

e-mail: skukla@ubb.edu.pl

SIMULATION, VISUALIZATION AND RATIONALIZATION OF PRODUCTION SYSTEMS

ABSTRACT

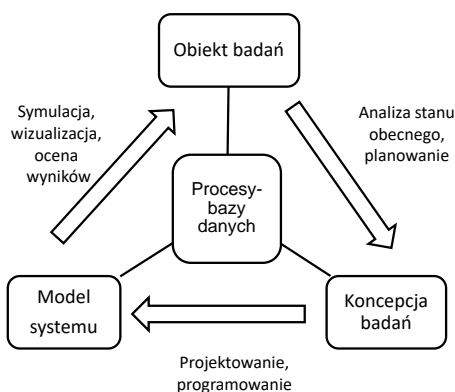
The paper presents a practical example of improvement of production systems on the basis modelling and simulation. A bottleneck as well as limiting factors were specified in a system. A number of improvements were proposed, aimed at improving work organization on the machining socket. An analysis of work ergonomics at the workplace was made in order to eliminate unnecessary and onerous for the employee actions. A model of production system using the Arena software, on which a simulation experiment was conducted, was drawn up in order to visualize the analysed phenomena. The effects of the project were shown on graphs comparing times, work ergonomics and overall efficiency of production equipment indicator.

KEYWORDS

Modelling, simulation and visualization of production systems, ergonomics, rationalization

1. Wprowadzenie

W doskonaleniu systemów produkcyjnych coraz częściej stosuje się modelowanie i symulację procesów (rys. 1). Symulacja jest jedną z metod wizualnego wspomaga zarządzania systemami wytwórczymi. Metody symulacyjne polegają na stworzeniu eksperymentalnego modelu systemu, który reprezentowany jest w formie zasobów produkcyjnych połączonych wzajemnymi relacjami. Modelowanie systemów polega na stworzenia modelu komputerowego systemu rzeczywistego, na którym przeprowadza się doświadczenia symulacyjne. Jako



Rys. 1. Modelowanie, symulacja i wizualizacja systemów produkcyjnych.

wynik z symulacji otrzymuje się zestaw raportów w postaci statystyk, wykresów oraz wskaźników wykorzystania zasobów produkcyjnych, na podstawie których podejmuje się kroki do dalszego działania. Opracowanie planu eksperymentu znacząco przyspiesza badania symulacyjne. W krótkim czasie można uzyskać satysfakcjonujące wyniki zmniejszając jednocześnie pracochłonność i koszty realizacji projektu. Planowanie doświadczeń symulacyjnych polega na określeniu rodzaju, liczby oraz kolejności prowadzonych analiz, które należy wykonać, aby uzyskać założone cele badań [1, 2, 6, 13, 14].

Do określania kolejności doświadczeń symulacyjnych można opierać się o następujące podejścia [10]:

- planowanie doświadczeń symulacyjnych na podstawie szczegółowej analizy czynnikowej obiektu badań,
- podejście ukierunkowane na eliminowanie wąskich gardeł,
- wykorzystanie doświadczenia projektanta modelu i eksperta do spraw symulacji,
- w oparciu o teorię planowania eksperymentu (DOE – *design of experiment*),
- wykorzystanie sztucznej inteligencji.

Plan realizacji doświadczeń symulacyjnych na modelu komputerowym systemu ma istotny wpływ na powodzenie realizowanego projektu. Dobry plan eksperymentu nie zapewnia uzyskania dokładnych wartości parametrów optymalnych procesów, lecz może je przybli-

żyć w stopniu satysfakcjonującym i pozwoli sprawdzić istotne z punktu widzenia systemu warianty rozwiązań [10, 11, 12].

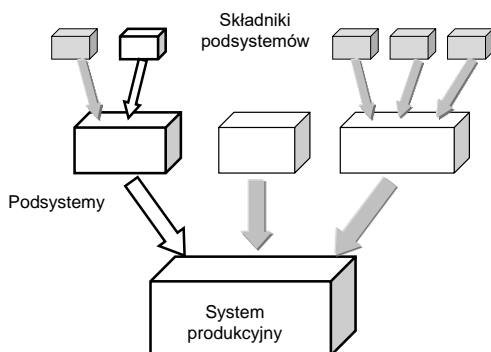
2. Symulacja i wizualizacja systemów produkcyjnych

Za pomocą modelu komputerowego można sprawdzić różne warianty rozwiązań funkcjonowania systemów pracy i szacować ich wydajność, koszty oraz analizować możliwość występowania zakłóceń bez konieczności eksperymentowania w warunkach produkcyjnych [4, 5, 13].

Kryteria są podstawą oceny w dążeniu do optymalnego wyboru, uściślają opis problemu oraz stanowią czynnik ukierunkowania działań w zakresie racjonalizacji systemów produkcyjnych.

Modele symulacyjne posiadają zazwyczaj strukturę hierarchiczną. Istnieje możliwość dodawania kolejnych poziomów modelu bardziej szczegółowo opisujących analizowany system bez ograniczeń, co do ich liczby. Analizy symulacyjne można wykonywać na modelu całego systemu oraz oddzielnie na poszczególnych jego składnikach.

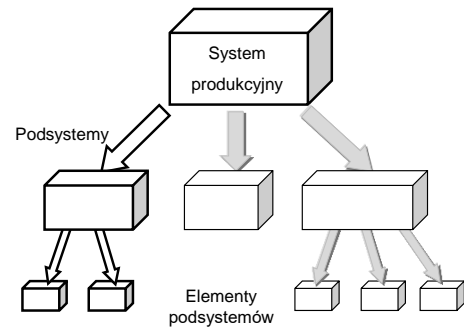
W zależności od struktury modelu można wyróżnić dwie podstawowe metody modelowania. Pierwsza z nich, nazywana modelowaniem „z dołu do góry”, polega na rozpoczęciu projektu od odwzorowania pojedynczych stanowisk roboczych, poprzez gniazda i linie produkcyjne, aż do całego systemu produkcyjnego (rys. 2). Zaletą tej metody jest przeprowadzenie prostszej i dokładniejszej analizy problemów szczegółowych, a wadą trudność zaobserwowania, jakie są globalne problemy w całym systemie i jakie są powiązania między nimi [7, 10].



Rys. 2. Modelowanie „z dołu do góry”.

Druga metoda polega na modelowaniu „z góry na dół”, czyli od ogółu do szczegółu (rys. 3). W pierwszej kolejności modeluje się w dużym uproszczeniu cały system, a następnie bada się bardziej szczegółowo poszczególne podsystemy, takie jak wydziały, linie, gniazda produkcyjne dążąc do dokładnego odwzorowania składników podsystemów. Zaletą takiego podejścia jest proste przedstawienie ogólnych właściwości systemu, do czego wystarczy model uproszczony bez wszyst-

kich zbędnych szczegółów stopniowo wprowadzając je w takim zakresie, jaki jest niezbędny w określonym etapie badań. Łatwiej wtedy wyłapać globalne problemy przedsiębiorstwa oraz powiązania między nimi [1, 7, 10].



Rys. 3. Modelowanie „z góry na dół”.

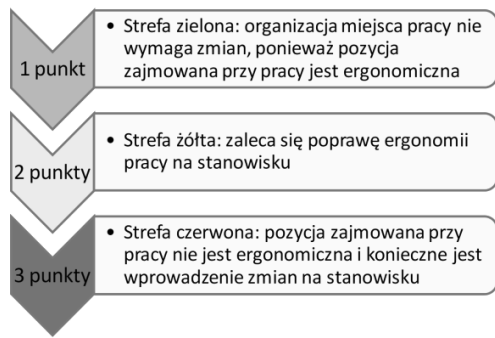
Wirtualna produkcja polega na wykorzystaniu modeli trójwymiarowych i zapisanych w nich informacji do wizualizacji i symulacji systemów produkcyjnych (rys. 4). Cyfrowy model systemu wspomaga planowanie i doskonalenie procesów na różnych poziomach zarządzania przedsiębiorstwem. Wykorzystany może być między innymi do analizy ergonomii pracy na stanowisku, optymalizacji rozmieszczenia poszczególnych elementów składowych gniazd i linii produkcyjnych, optymalizacji powierzchni, szacowania czasów w oparciu o ruchy elementarne itp.



Rys. 4. Wizualizacja pracy na stanowisku [9].

Ocenę ergonomii pracy na stanowisku w szybki i uproszczony sposób można przeprowadzić również metodą punktową. Podczas takiej analizy branych jest pod uwagę 9 czynników/postaw, którym przypisuje się oceny według trójstopniowej skali (rys. 5).

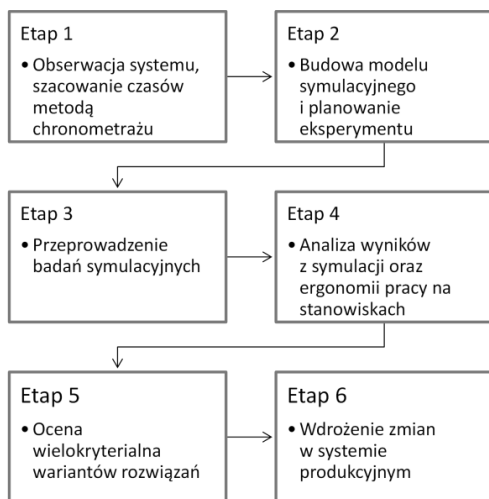
Do składników podlegających ocenie zalicza się zgięcie i obrót pracownika w pasie, roboczą wysokość ramienia, kąt zgięcia kolan, kąt obrotu nadgarstka, precyzję i trudność wykonywanych ruchów, zakres pracy na stanowisku, pokonywany dystans oraz ciężar manipulowanych przedmiotów [3, 8].



Rys. 5. Ocena punktowa ergonomii pracy na stanowisku.

3. Optymalizacja organizacji pracy oraz poprawa wydajności na przykładowym stanowisku

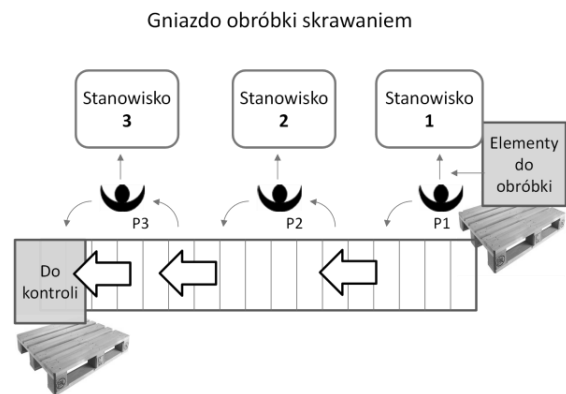
Poniżej zostanie przedstawiony problem badawczy reorganizacji stanowiska pracy w celu poprawy wydajności, organizacji i ergonomii pracy na przykładzie gniazda obróbki skrawaniem. Badania zrealizowano w oparciu o eksperyment symulacyjny. Etapy realizacji badań przedstawiono na rysunku 6. W pierwszej kolejności oszacowano czasy trwania poszczególnych zabiegów metodą chronometrażu bazując na 100 pomiarach wykonanych dla różnych pracowników i na różnych zmianach roboczych. W dalszej kolejności zbudowano model symulacyjny gniazda obróbki skrawaniem w programie Arena, zaplanowano i przeprowadzono eksperyment symulacyjny.



Rys. 6. Etapy realizacji badań.

Gniazdo produkcyjne składa się z trzech stanowisk obróbczych połączonych przenośnikiem. Gniazdo obsługiwane jest przez trzech pracowników. Elementy do obróbki dostarczane są w pojemnikach przewożonych wózkami widłowymi. Po obróbce obrabione elementy są przekazywane na stanowiska kontroli jakości. Uproszczone schemat gniazda przedstawiono na rysunku 7.

Na podstawie obserwacji stanu obecnego oraz uwzględniając raporty z przeprowadzonego eksperymentu symulacyjnego wskazano następujące czynniki

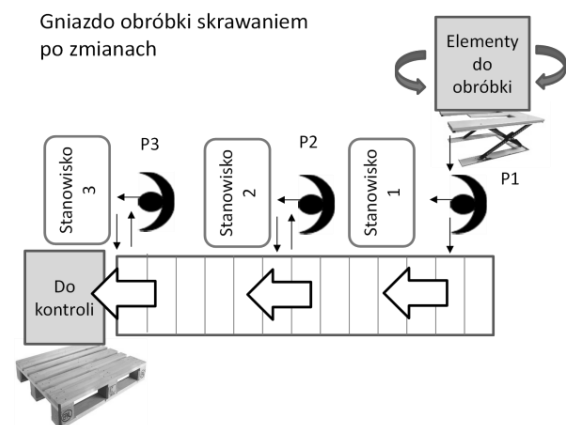


Rys. 7. Organizacja gniazda obróbki skrawaniem.

ograniczające możliwości produkcyjne gniazda obróbczego:

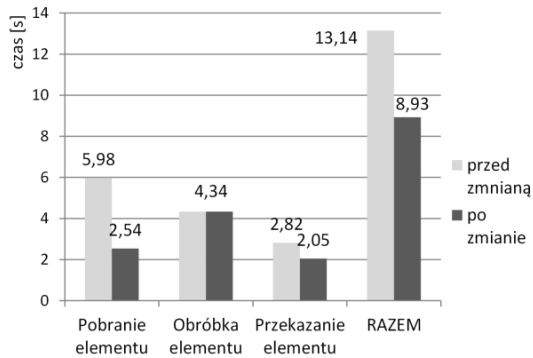
- problemy z ergonomią pracy na stanowiskach,
- długi i nieregularny czas pobierania elementu do obróbki wynikający z konieczności podnoszenia go z głębokiego pojemnika ustawionego na podłodze z dala od maszyny oraz konieczność obrotu pracownika o 180°,
- ograniczenie ciągłości produkcji związane z czasem oczekiwania na nowy pojemnik dostarczany przez wózki widłowe.

Na podstawie badań symulacyjnych oraz analizy ergonomii pracy na poszczególnych stanowiskach zaproponowano kilka usprawnień w funkcjonowaniu systemu. Aby wyeliminować konieczność pochylania się pracownika przy pobieraniu elementów z pojemnika na stanowisku nr 1 wprowadzono stół, na którym ustawiono pojemnik z elementami do obróbki. Ponadto stół skonstruowano w taki sposób, że pojemnik pochylony był w stronę pracownika, co minimalizuje odległość między przedmiotami do obróbki a pracownikiem i ustawiono go w innej lokalizacji względem maszyny. Dodatkowo zmiana organizacji pracy na stanowisku nr 1 objęła również ustawienie maszyny, a co za tym idzie zmianę ustawienia pracownika w stosunku do przenośnika. Zmienioną organizację stanowiska obróbki skrawaniem przedstawiono na rysunku 8. Ponownie przeprowadzono symulację pracy gniazda oraz oceniono ergonomię pracy po proponowanych zmianach.



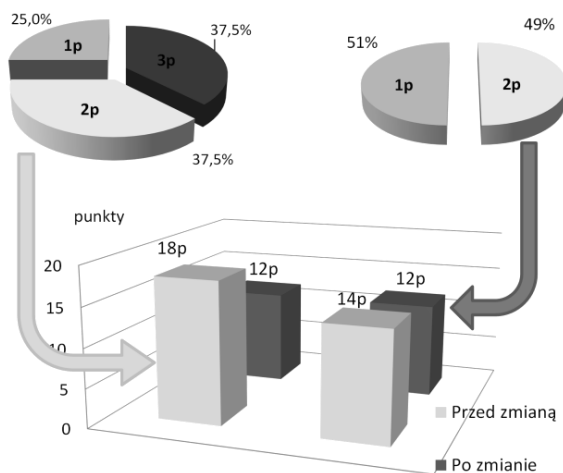
Rys. 8. Organizacja gniazda po wprowadzeniu zmian.

Dzięki wprowadzonym zmianom znacznie skrócił się czas manipulowania elementami na stanowisku pierwszym będącym wcześniej wąskim gardłem w systemie. Zestawienie czasów realizacji poszczególnych czynności na stanowisku pierwszym przed i po zmianach przedstawiono na wykresie zamieszczonym na rysunku 9.



Rys. 9. Zestawienie czasów realizacji czynności na stanowisku nr 1 przed i po zmianach.

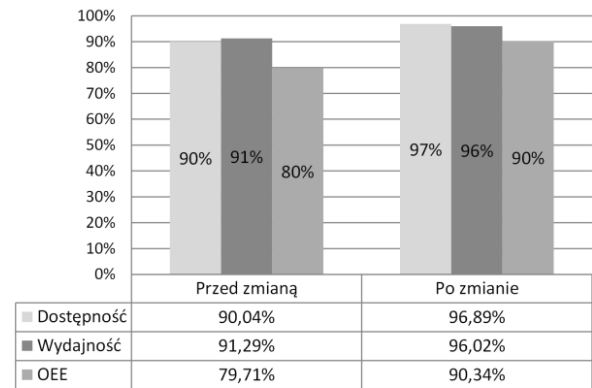
Na podstawie analizy ergonomii stanowisko zostało przebudowane w taki sposób, że oprócz zmniejszenia czasów wykonywania poszczególnych czynności wyeliminowano ruchy mieszczące się w trzeciej strefie oraz przesunięto część czynności ze strefy drugiej do pierwszej (rys. 10). Eliminując ruchy, które były dla pracowników niewygodne i uciążliwe poprawiono komfort i bezpieczeństwo pracy, co powinno mieć przełożenie również na jakość realizowanych zadań.



Rys. 10. Wyniki oceny punktowej ergonomii pracy na wybranym stanowisku.

Wyeliminowano znaczną część czynności bez wartości dodanej. Dzięki tym działaniom wzrósł udział czasu obróbki elementów w trakcie trwania zmiany roboczej, co ma również wpływ na koszty pracy bezpośredniej. Oszacowano oszczędności wynikające ze zmniejszenia bezpośrednich kosztów pracy, które uległy obniżeniu o około 32%. Zmniejszeniu uległy również koszty stanowiskowe dzięki mniejszej powierzchni zajmowanej przez gniazdo obróbki skrawaniem.

Aby podsumować i zestawić uzyskane rezultaty badań posłużono się wskaźnikiem OEE oraz jego składowymi, co przedstawiono na rysunku 11.



Rys. 11. Wskaźnik ogólnej wydajności wyposażenia OEE oraz jego składowe.

4. Podsumowanie

Najlepszą drogą do ciągłej racjonalizacji systemów produkcyjnych jest zaangażowanie wszystkich pracowników przedsiębiorstwa w poprawę warunków i metod pracy. Program drobnych zmian sukcesywnie wprowadzanych może przyczynić się do znacznej poprawy efektywności produkcji. Dzięki badaniom ergonomii pracy na stanowiskach można wyszczególnić czynności, które mogą być uciążliwe i nieprzyjemne dla pracowników powodując równocześnie spadek wydajności ich pracy oraz przemęczenie. Uwzględnienie aspektu ergonomii przy projektowaniu gniazd produkcyjnych pozwala budować elastyczne stanowiska pracy przyjazne dla pracowników.

Modelowanie, symulacja oraz wizualizacja systemów jest czasochłonna, ale pozwala prowadzić szczegółowe pomiary i badania nad systemami wytwórczymi bez konieczności eksperymentowania na systemie rzeczywistym. Bardzo istotnym zagadnieniem jest opracowanie modeli na odpowiednim poziomie szczegółowości. Nadmierna szczegółowość niekoniecznie prowadzi do zwiększenia dokładności oraz lepszej wizualizacji analizowanych problemów, a zwiększa pracochłonność, czasochłonność i koszty prowadzonych badań.

Literatura

- [1] Beaverstock M., Greenwood A., Nordgren W., *Symulacja stosowana. Modelowanie i analiza przy wykorzystaniu FlexSim*, Wydawnictwo InterMarium, Kraków 2019.
- [2] Dima I., Man M., *Modelling and Simulation in Management*, Springer, Switzerland, 2015.
- [3] Falzon P., *Constructive ergonomics*, Boca Raton: CRC Press, 2015.
- [4] Gola A., Kost G., Zajac J., *Integracja zautomatyzowanych i zrobotyzowanych systemów wytwarzania*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2022.

- [5] Jasiulewicz-Kaczmarek M., Mazurkiewicz D., Wyczółkowski R., *Strategie i metody utrzymania ruchu*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2023.
- [6] Kelton W., Sadowski R., Sadowski D., *Simulation with Arena*, WCB/McGraw-Hill, 2014.
- [7] Krenczyk D., Pawlewski P., Plinta D., *Symulacja procesów produkcyjnych*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2022.
- [8] Kukła S., *Modelling and optimization of organization of workplaces in a foundry*, Archives of Foundry Engineering, 16, 3, 55–58, 2016.
- [9] Kurczyk D., *Racjonalizacja produkcji w systemach produkcyjnych z zastosowaniem komputerowej wirtualizacji procesów*, Praca doktorska, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Bielsko-Biała, 2018.
- [10] Maciąg A., Piertróń R., Kukła S., *Prognozowanie i symulacja w przedsiębiorstwie*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2013.
- [11] Manas J., *The resource management and capacity planning handbook*, McGraw-Hill Companies, 2015.
- [12] Plinta D., *Modelowanie i symulacja procesów produkcyjnych*, Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej, Bielsko-Biała 2015.
- [13] Rossetti M.D., *Simulation modelling and Arena*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2016.
- [14] Smalley A., *Cztery typy problemów i sposoby ich rozwiązywania: Od usuwania usterek do wprowadzania innowacji*, Wydawnictwo Lean Enterprise Institute, Wrocław, 2018.