

Oliwia Gajo

III rok SS1 Logistyka, Inżynieria Systemów Logistycznych,
Instytut Zarządzania, Uniwersytet Szczeciński

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROCESU PROJEKTOWANIA WYROBÓW Z UWZGLĘDNIENIEM REDUKCJI MATERIAŁU W PROCESIE WYTWARZANIA

Wstęp

Celem artykułu jest odpowiedź na dwa zasadnicze pytania: Czy wykorzystanie inżynierii współbieżnej może pozwolić na doskonalenie procesu rozkroju geometrii 2D? Czy komputerowa integracja wytwarzania pozwala na optymalne zarządzanie procesem produkcyjnym w kontekście minimalizacji użycia materiału oraz umożliwia podniesienie poziomu elastyczności w procesie wytwarzania części ciętych z arkuszy blach? Aby odpowiedzieć na tak postawione pytania przeprowadzono analizę literatury dotyczącą inżynierii równoległej oraz komputerowego wspomaganie projektowania procesów wytwarzania. Przeprowadzona analiza literatury wskazuje, że coraz większe znaczenie w procesach gospodarczych ma transformacja cyfrowa w połączeniu z zagadnieniami przemysłu 4.0.¹

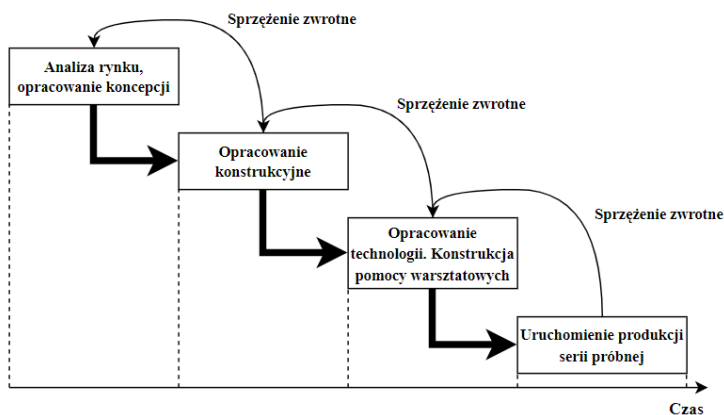
Dzięki nowoczesnym systemom informatycznym istnieje możliwość komputerowej integracji zarówno projektowania procesów wytwarzania, jak i zarządzania tymi procesami na poziomie operacyjnym z wykorzystaniem idei komputerowej integracji wytwarzania CIM (*Computer Integrated Manufacturing*). Na systemy CIM składają się między innymi: komputerowo wspomagane planowanie CAP (*Computer Aided Planning*), systemy wspomagające projektowanie CAD (*Computer Aided Design*), wspomagane komputerowo procesy wytwarzania CAM (*Computer Aided Manufacturing*) oraz połączenie czynności inżynierskich CAD i CAM jako CAE (*Computer Aided Engineering*)². CIM obejmuje zatem wszelkie czynności związane z produkcją, które wspomagane są komputerowo, od planowania, przez projektowanie, aż po wytworzenie wyrobu gotowego³. W związku z tym w prezentowanym

1 M. Frankowska, M. Malinowska, A. Rzczycki, *Kształtowanie modeli biznesu w erze industry 4.0*, Przedsiębiorczość i Zarządzanie, t. 18, z. 8, 2017.

2 J. Gawlik, J. Plichta, A. Świć, *Procesy produkcyjne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2013.

3 I. Durlik, *Inżynieria Zarządzania, część 1. Strategie i projektowanie systemów produkcyjnych*, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 1995.

artykule przedstawiono możliwości wykorzystania współczesnych systemów informatycznych do zrównoleżenia prac projektowych, a następnie przygotowania procesu wytwarzania i w konsekwencji całego procesu produkcyjnego w taki sposób, aby możliwe było zrównoleżenie najważniejszych etapów jego projektowania. Wymienione działania mają na celu eliminowanie marnotrawstwa czasu, materiałów oraz związanych z nimi kosztów, jakie mogą występować w klasycznym podejściu do przygotowania produkcji. W procesach tradycyjnych poszczególne etapy wykonywane są szeregowo, jeden po drugim⁴. Wizualizację opisywanego procesu przedstawia rysunek 1.



Rysunek 1. Etapy przygotowania produkcji w ujęciu klasycznym

Źródło: J. Honczarenko, *Elastyczna automatyzacja wytwarzania. Obrabiarki i systemy obróbkowe*, WNT, Warszawa 2000.

Pierwszym etapem przygotowania produkcji jest analiza rynku i opracowanie koncepcji przez wyznaczony do tego zespół ludzi. Dopiero po zakończeniu tych działań następuje opracowanie konstrukcyjne wyrobu przez zespół konstruktorów. Gdy wymienione czynności zostaną wykonane, rozpoczynają się prace związane z opracowaniem technologii pomocy warsztatowych⁵. Końcowym etapem jest uruchomienie produkcji serii próbnej. Pomędzy poszczególnymi zespołami zachodzą sprzężenia zwrotne, informacje są przekazywane

4 L. Zawadzka, *Współczesne problemy i kierunki rozwoju elastycznych systemów produkcyjnych*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2007.

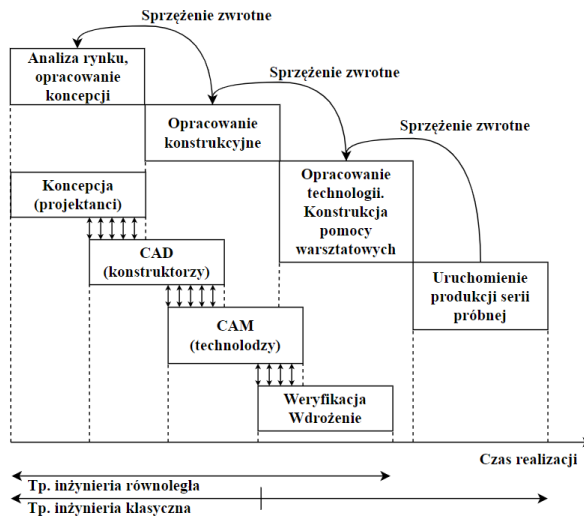
5 W. Musiał, J. Witek, Proposal for an expert system to aid decision-making in the design and management of flexible manufacturing systems. Scientific Papers of Silesian University of Technology – Organization and Management Series 2023, Issue No. 186.

w tył – na przykład o konieczności wprowadzenia poprawek w projekcie z powodu zbyt wysokich kosztów wytworzenia danej części⁶.

W artykule zaprezentowana została koncepcja usprawnienia procesu przygotowania produkcji w odniesieniu do projektowania procesu technologicznego.

1. Analiza problemu

Skuteczną strategią optymalizacji przygotowania produkcji jest zastosowanie inżynierii współbieżnej, która zakłada zrównoleżenie poszczególnych czynności. Inżynieria współbieżna wspierana jest przez rozwiązania techniczne takie jak: trójwymiarowe modele bryłowe CAD, integracja systemów CAD i CAM, symulacja procesów wytwarzania już na wczesnym etapie projektowania wyrobów przy pomocy specjalistycznego oprogramowania, a także poprzez uwzględnienie uprzednio zebranych doświadczeń zawartych w bazach danych przedsiębiorstwa. Inżynieria współbieżna uwzględnia wszystkie aspekty cyklu życia produktu, do których zalicza się koncepcja, konstrukcja, technologia, rachunek ekonomiczny, logistyka, certyfikaty, dystrybucja, użytkowanie i recykling. Celem jest usprawnienie sposobu komunikacji pomiędzy poszczególnymi zespołami oraz skrócenie całkowitego czasu pracy⁷. Zobrazowanie wspomnianej idei przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Etapy przygotowania produkcji w inżynierii współbieżnej

Źródło: Opracowanie własne.

6 J. Honczarenko, *Elastyczna automatyzacja wytwarzania. Obrabiarki i systemy obróbkowe*, WNT, Warszawa 2000.

7 L. Zawadzka, op. cit.

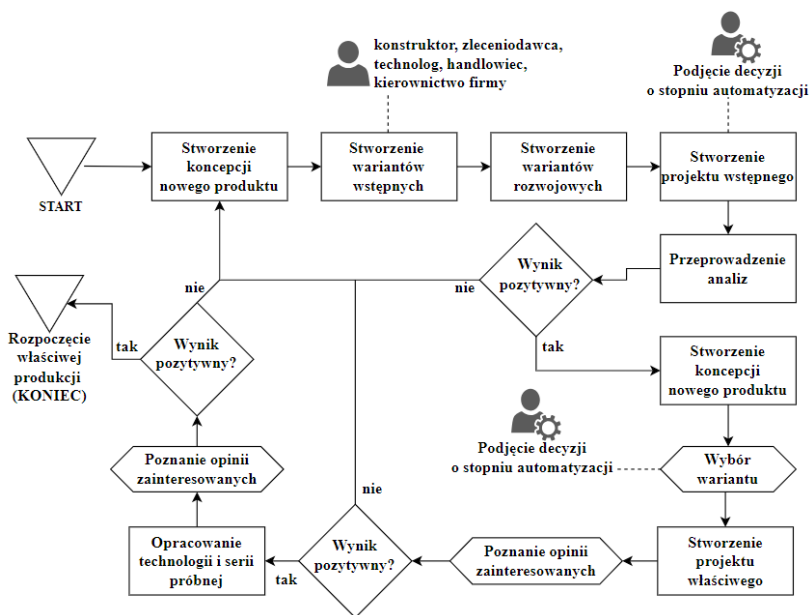
Zespół konstruktorów może w czasie rzeczywistym konsultować projekt z osobami odpowiedzialnymi za design i na wczesnym etapie zgłaszać konieczność wprowadzenia zmian w koncepcji. Podobne sprzężenia zwrotne w inżynierii równoległej mogą występować między technologami a konstruktorami. Zastosowanie tego rozwiązania prowadzi do sytuacji, w której paradoksalnie każdy zespół może pracować dłużej, jednak dzięki temu, że pracują równolegle, całkowity czas wdrożenia i przygotowania procesu produkcyjnego się skraca. Wykorzystując metody sztucznej inteligencji proces wytwarzania można uczynić na tyle elastycznym, że w tym samym czasie możliwe stanie się projektowanie, a następnie wytwarzanie więcej niż jednego wyrobu z użyciem tej samej partii materiałów⁸. Zamiast tworzyć odpady poprodukcyjne w pojedynczym procesie, w sytuacji, gdy opracowywana jest produkcja więcej niż jednego wyrobu w danym czasie, można tak rozdysonować posiadany materiał, że nawet przy wprowadzeniu niewielkich zmian w konstrukcji można będzie z jednej partii materiału wytworzyć kilka wyrobów lub części do nich. Warunkiem koniecznym jest w tym przypadku zachowanie wymaganego poziomu jakości. Kluczowym zagadnieniem jest jednoczesna analiza kilku zadań technologicznych, które muszą być wykonane w krótkim czasie. Priorytetem jest minimalizacja odpadu materiałowego z uwzględnieniem zróżnicowania kształtów wycinanych elementów.

2. Przykład procesu produkcyjnego z wykorzystaniem inżynierii równoległej

Współpraca modułów w ramach zintegrowanego wytwarzania umożliwia szybkie wprowadzanie na rynek nowych wyrobów lub wprowadzanie zmian w wyrobach już istniejących. Zanim jednak system zostanie wdrożony i proces produkcyjny rozpocznie się, konieczne jest podjęcie decyzji dotyczących projektu wyrobu oraz sposobu jego produkcji. Pierwszym etapem przygotowania produkcji są badania rynku, które umożliwiają opracowanie nowego produktu, a także wstępne ustalenie jego cech i funkcjonalności, które w przyszłości mogą być modyfikowane. Na podstawie przeprowadzonych badań rynkowych powstają warianty wstępne, opracowywane wspólnie przez zleceniodawców, konstruktorów, technologów, handlowców oraz kierownictwo firmy z uwzględnieniem ich fachowej wiedzy i doświadczenia. W dalszej kolejności opracowane wcześniej warianty są rozbudowywane i udoskonalane i w ten sposób powstają warianty rozwojowe. Następnie tworzy się wstępne projekty i na tym etapie podejmowana jest decyzja o stopniu automatyzacji procesów wytwórczych. Wstępne projekty podlegają szczegółowym

8 W. Musiał., J. Witek, op. cit.

analizom technologicznym i ekonomicznym. Jeśli projekt nie budzi zastrzeżeń, opracowana zostaje technologia oraz seria próbna. Na tym etapie ponownie zostają zapytani interesariusze i jeżeli ich opinia jest pozytywna, wyrób trafia do produkcji właściwej. Dokładny schemat przedstawiono na rysunku 4.



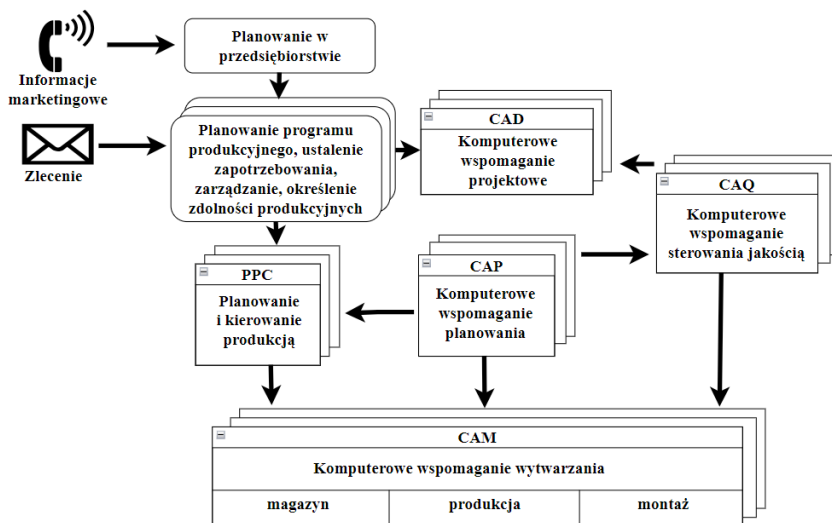
Rysunek 4. Etapowanie realizacji projektu elastycznego systemu wytwarzania

Źródło: Opracowanie własne na podstawie J. Honczarenko, op. cit.

W procesie projektowania, który rozumiany jest jako niezbędny ciąg czynności koniecznych do realizacji projektu, konieczne jest wykorzystanie komputerowych systemów, które wspierają pracę inżynierów na poszczególnych etapach procesu przygotowania produkcji.⁹ Dzięki możliwości integracji poszczególnych modułów i równoczesnej pracy nad kilkoma zadaniami zgodnie z ideą inżynierii współbieżnej możliwe jest przyspieszenie procesu projektowego. Zrównoleglenie poszczególnych zadań takich jak: projektowanie i tworzenie dokumentacji technicznej, sterowanie jakością i kontrola jakości, planowanie zadań produkcyjnych takich jak montaż i wytwarzanie, planowanie kontroli, programowanie maszyn

⁹ R.S. Kaplan, D.P. Norton, *Projektowanie procesów produkcyjnych*, Prace naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania i Przedsiębiorczości z siedzibą w Wałbrzychu, Wałbrzych 2020.

sterowanych numerycznie, gospodarowanie materiałami, podzespołami i częściami oraz zarządzanie bazami danych. Schemat powiązań poszczególnych działań wraz z przypisanymi im systemami wspomagania komputerowego przedstawiono szczegółowo na rysunku 5.

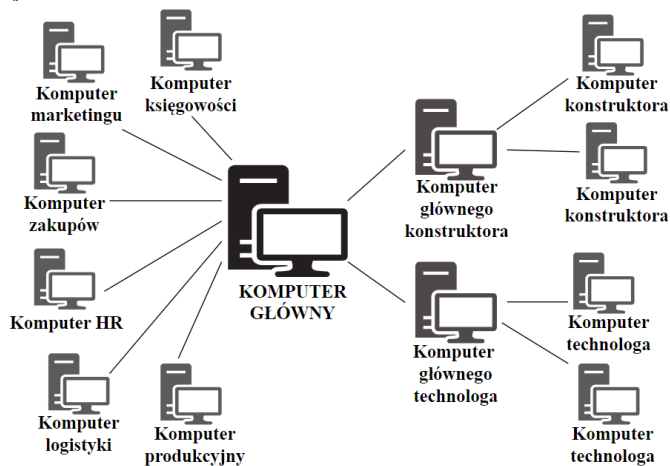


Rysunek 5. Komputerowa integracja wytwarzania

Źródło: Opracowanie własne na podstawie M. Zawadzka, op. cit.

Informacje ze wszystkich etapów procesu produkcyjnego trafiają do wspólnej bazy danych. Tak zaawansowany system produkcyjny pozwala na pełne wykorzystanie potencjału dostępnych środków produkcyjnych. W ramach integracji przedsiębiorstwa poprzez wspólną bazę danych obejmującą zarówno działania operacyjne, jak i techniczne, uwzględnia się takie obszary jak kontrola zamówień, zarządzanie kosztami, planowanie produkcji, zarządzanie materiałami, kontrola zdolności produkcyjnych, gromadzenie danych operacyjnych czy zarządzanie jakością. Wszystkie te informacje mogą być przechowywane na jednym komputerze lub być rozproszone na kilku stanowiskach, ale również występować na wirtualnym serwerze. Zasoby informacyjne przekazywane są stopniowo, na przykład z komputerów konstruktorów na komputer głównego konstruktora, a gdy zostaną one zatwierdzone, przesyłane są do komputera głównego, wiodącego. Tworzy się w ten sposób system połączeń między stanowiskami, a dzięki takiej integracji można sprawnie reagować na zmiany i występujące problemy, ponieważ dane stale są uaktualniane. Schemat

powiązań pomiędzy komputerami na poszczególnych stanowiskach przedstawiono na rysunku 6.



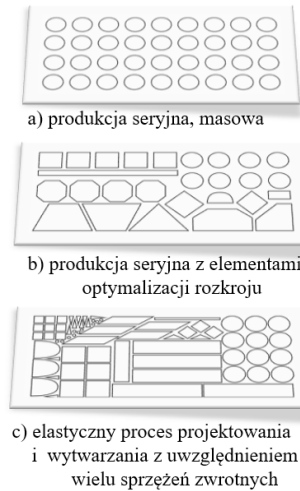
Rysunek 6. Komputerowa integracja procesów wytwarzania CIM

Źródło: Opracowanie własne na podstawie M. Lewandowska, *Projekt procesu technologicznego z wykorzystaniem inżynierii współbieżnej w celu realizacji produkcji seryjnej w elastycznym systemie wytwarzania*, Politechnika Koszalińska, praca dyplomowa 2022.

Projektowanie współbieżne zgodnie z ideą inżynierii współbieżnej opiera się na zrównolegleniu działań projektowych, integracji i standaryzacji. Procesy organizowane są w taki sposób, aby mogły przebiegać równolegle. W praktyce wiele procesów jest zależnych, aczkolwiek dąży się do tego, by w miarę możliwości proces zależny rozpoczynał się jeszcze przed zakończeniem procesu go poprzedzającego. Jest to możliwe przez wzgląd na fakt, iż często do rozpoczęcia kolejnego procesu nie ma konieczności posiadania wszystkich informacji wejściowych. Obecnie inżynieria równoległa obejmuje cały proces projektowania i zarządzania produktem, włączając w to cykl życia produktu, recykling oraz możliwość projektowania szeregu produktów w sposób, który minimalizuje koszty produkcji dla całej grupy podobnych wyrobów. Dzięki takiemu podejściu istnieje możliwość skrócenia czasu wprowadzania procesu produkcyjnego poprzez zastosowanie inżynierii równoległej zamiast podejścia sekwencyjnego nawet do 30%.¹⁰ Na rysunku 7 zaprezentowano porównanie realizacji projektu dla produkcji masowej, gdzie części są produkowane w dużej liczbie oraz efekt projektowania krótkich serii, gdzie ich liczba zależna jest od napływających zleceń. Trzecim przykładem zaprezentowanym

¹⁰ L. Zawadzka, op. cit.

na rysunku 7 jest elastyczne projektowanie i wytwarzanie w taki sposób, aby maksymalnie wykorzystać przestrzeń na arkuszu blachy.



Rysunek 7. Prezentacja trzech typów rozkroju arkusza blachy z uwzględnieniem sposobu realizacji procesu produkcyjnego

Źródło: Opracowanie własne.

Zadanie projektowe w pierwszej kolejności przechodzi przez dział konstrukcyjny odpowiedzialny za opracowanie modeli matematycznych i ich weryfikację, a także przeprowadzenie niezbędnych obliczeń inżynierskich. Po wykonaniu wstępnych modeli 2D i 3D, mogą one zostać przekazane do działu technologicznego, gdzie zespoły technologiczne zgodnie z przyjętymi wytycznymi (CAP) rozpoczynają przygotowywanie symulacji procesu technologicznego za pomocą modułów CAM. Ponieważ kształty przedmiotów w wybranym zadaniu technologicznym nie ulegają znaczącym zmianom, a modyfikacje dotyczą głównie wymiarów, możliwe jest natychmiastowe uruchomienie procesu technologicznego. W przypadku elastycznego projektowania i wytwarzania konstruktorzy przekazują informację o zmianie lub modyfikacji modelu. Technolodzy mogą dostosować pliki dotyczące procesu technologicznego, zmieniając narzędzia lub parametry obróbkowe, lub tworząc je od nowa. Realizacja zadań zgodnie z inżynierią współbieżną wymaga odpowiednich baz danych i integracji zarządzania operacyjnego oraz technicznego przygotowania produkcji.

Podsumowanie

Wykorzystanie inżynierii równoległej w procesach projektowania, przy wykorzystaniu komputerowej integracji wytwarzania pozwala na optymalne zarządzanie procesem produkcyjnym w taki sposób, by znacząco przyczynić się do minimalizacji użycia materiału w procesie wytwarzania. Przeprowadzona analiza zastosowania inżynierii równoległej w procesie projektowania a następnie realizacja procesu wytwarzania na podstawie modeli geometrycznych, które mogą być w sposób elastyczny konfigurowane w obszarze roboczym np. wycinarek laserowych, pozwala na efektywne wypełnienie przestrzeni na arkuszu blachy i lepsze jego wykorzystanie. Dlatego można stwierdzić, że odpowiedź na pierwsze pytanie sformułowane w pierwszej części artykułu jest pozytywna. A w przypadku technologii cieciami wodą ze ścierniwem, doskonalenie procesu rozkroju elementów 2D ma nawet większe znaczenie ponieważ czas realizacji tego procesu jest dłuższy i bardziej optymalne wykonanie projektu skraca czas całkowity procesu wytwarzania wybranych części. Odpowiedź na drugie pytanie w świetle przedstawionej analizy wydaje się też twierdząca. Komputerowa integracja wytwarzania pozwala na optymalne zarządzanie procesem produkcyjnym w kontekście minimalizacji użycia materiału oraz umożliwia podniesienie poziomu elastyczności w procesie wytwarzania części ciętych z arkuszy blach. Można zaryzykować stwierdzenie, że wykorzystanie systemów sztucznej inteligencji może przyczynić się do intensyfikacji wykorzystania inżynierii równoległej ze względu na wspomaganie procesu planowania rozkroju elementów już na etapie ich projektowania przy uwzględnianiu napływających nowych zamówień i modyfikacji wyrobów.

Bibliografia

- Durlik I., Inżynieria Zarządzania, część 1. Strategie i projektowanie systemów produkcyjnych, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 1995.
- Frankowska M., Malinowska M., Rzeczycki A., Kształtowanie modeli biznesu w erze przemysłu 4.0, Przedsiębiorczość i Zarządzanie, t. 18, z. 8, 2017.
- Gawlik J., Plichta J., Świć A., Procesy produkcyjne, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2013.
- Honczarenko J., Elastyczna automatyzacja wytwarzania. Obrabiarki i systemy obróbkowe, WNT Warszawa 2000.
- Kaplan R.S., Norton D.P., Projektowanie procesów produkcyjnych, Prace naukowe Wyższej Szkoły Zarządzania i Przedsiębiorczości z siedzibą w Wałbrzychu, Wałbrzych 2020.
- Lewandowska M., Projekt procesu technologicznego z wykorzystaniem inżynierii współbieżnej w celu realizacji produkcji seryjnej w elastycznym systemie wytwarzania, Politechnika Koszalińska, praca dyplomowa 2022.

Musiał W., Witek J., Proposal for an expert system to aid decision-making in the design and management of flexible manufacturing systems. Scientific Papers of Silesian University of Technology – Organization and Management Series 2023, Issue No. 186.
Zawadzka L., Współczesne problemy i kierunki rozwoju elastycznych systemów produkcyjnych, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2007.

Streszczenie

Współczesna literatura podkreśla rosnące znaczenie komputerowej integracji w procesach wytwarzania. Artykuł prezentuje istotę wsparcia komputerowego w optymalizacji procesów produkcyjnych. Dzięki wykorzystaniu nowoczesnych systemów informatycznych i równoległemu realizowaniu różnych etapów przygotowania produkcji zgodnie z zasadami inżynierii współbieżnej, można osiągnąć znaczne skrócenie całkowitego czasu pracy. Jednoczesne planowanie i projektowanie wielu wyrobów do produkcji umożliwia efektywniejsze wykorzystanie dostępnych materiałów. Takie podejścia ukazują, jak zaawansowane technologicznie procesy wspomagane komputerowo mogą rewolucjonizować efektywność produkcji oraz zarządzanie zasobami.

Słowa kluczowe: cyfrowa transformacja, inżynieria współbieżna, elastyczny system wytwarzania, komputerowa integracja wytwarzania.

COMPUTER AIDED DESIGN OF PRODUCTS WITH MATERIAL REDUCTION CONSIDERATION IN THE MANUFACTURING PROCESS

Summary

Contemporary literature emphasizes the growing importance of computerized integration in manufacturing processes. The article presents the essence of computer support in optimizing production processes. By utilizing modern information systems and concurrently executing various stages of production preparation according to the principles of concurrent engineering, significant reduction in total work time can be achieved. Simultaneous planning and designing of multiple products for production enable more efficient utilization of available materials. Such approaches illustrate how technologically advanced computer-assisted processes can revolutionize production efficiency and resource management.

Keywords: digital transformation, concurrent engineering, flexible manufacturing system, computer-aided manufacturing integration.