

WPLYW PARAMETRÓW SYSTEMU PRODUKCYJNEGO NA KOSZTY I CZAS TRWANIA PROCESU

Szymon PAWLAK, Krzysztof NOWACKI

Streszczenie: Definiowanie parametrów systemu produkcyjnego oraz wybór rodzaju przepływu produkowanych elementów decyduje o poziomie sprawności oraz efektywności procesu wytwarzania. Złożona struktura procesów produkcyjnych wraz z dużą liczbą zmiennych powoduje trudności w wyborze optymalnego rozwiązania, zapewniającego osiągnięcie wyników spełniających oczekiwania i cele stawiane przed przedsiębiorstwem. W pracy tej przedstawione zostały wyniki ukazujące wpływ zastosowania wybranych systemów organizacji przepływu na poziom generowanych kosztów oraz czas trwania procesu wytwarzania. Proces oceny poszczególnych wariantów organizacji produkcji został dokonany na podstawie wyników uzyskanych w rezultacie przeprowadzenia symulacji komputerowej w oprogramowaniu symulacyjnym FlexSim. Dane na podstawie, których przeprowadzona została symulacja pochodzą z zakładu produkcyjnego specjalizującego się w produkcji części elementów maszyn.

Słowa kluczowe: systemy organizacji przepływu, proces produkcyjny, symulacja komputerowa

1. Wstęp

Postęp cywilizacyjny, rosnące oczekiwania i wymagania konsumentów, a także specyfika gospodarki rynkowej sprawia, że jednym z głównych czynników determinujących skuteczne i efektywne funkcjonowanie przedsiębiorstwa jest prawidłowe przewidywanie następstw związanych z podejmowanymi decyzjami oraz strategią planowania. Umiejętność planowania procesu produkcyjnego oraz wybór parametrów systemu wytwarzania wpływa w sposób bezpośredni na poziom organizacji realizowanego procesu oraz stopień jego efektywności. W praktyce przemysłowej zastosowanie znalazły trzy warianty organizacji przepływu: system szeregowy, równoległy oraz szeregowo równoległy [1].

Dokonanie wyboru odpowiedniego systemu przepływu produkowanych elementów zależne jest od strategii obranej przez daną komórkę organizacyjną, jej zdolności produkcyjne oraz przyjęte priorytety, do których zaliczyć można na przykład: skrócenie czasu produkcji, zmniejszenie liczby operacji transportowych czy zwiększenie wydajności poszczególnych stanowisk produkcyjnych. W ujęciu ekonomicznym dobór odpowiedniej organizacji przepływu jest jedną z najważniejszych i kluczowych decyzji wpływających na podstawowe parametry systemu wytwarzania. System przepływu produkowanych elementów determinuje całkowity czas trwania cyklu wytwarzania, czyli czasu potrzebnego do wykonania określonej liczby elementów począwszy od momentu pobrania surowca z magazynu aż do chwili ukończenia wszystkich zakładanych operacji. W praktyce czas trwania cyklu wytwarzania w sposób bezpośredni wpływa na poziom kosztów ponoszonych przez daną komórkę organizacyjną. Dlatego też słusznym jest stwierdzenie, że wybór danego systemu przepływu produkowanych elementów w sposób bezpośredni decyduje o wysokości kosztów, zysków oraz ewentualnych strat ponoszonych przez przedsiębiorstwo [1, 2].

By w jak najlepszy sposób zobrazować procentowy udział czasu poszczególnych obszarów wchodzących w skład cyklu wytwarzania w tabeli 1 przedstawione zostały dane pochodzące z przedsiębiorstw produkcyjnych z branży maszynowej, prowadzących produkcje jednostkową oraz małoseryjną:

Tab. 1. Procentowy udział czasu poszczególnych obszarów wchodzących w skład cyklu wytwarzania [1]

Obszary cyklu wytwarzania	Udział procentowy
Procesy technologiczne	10%
Proces transportowe	2%
Procesy pomiarowo-kontrolne	3%
Składowanie	85%
<ul style="list-style-type: none"> • składowanie w magazynie, 	5%
<ul style="list-style-type: none"> • składowanie wynikające z organizacji produkcji, 	75%
<ul style="list-style-type: none"> • składowanie spowodowane zakłóceniami produkcji, 	3%
<ul style="list-style-type: none"> • składowanie spowodowane błędami człowieka, 	2%

Z przedstawionych danych wynika, że udział czasu składowania materiałów lub półfabrykatów będących w trakcie trwania procesu wytwarzania zależy jest od rodzaju zastosowanej organizacji produkcji. Tym samym w omawianym obszarze (związany z czasem składowania) istnieją teoretycznie największe możliwości wprowadzenia usprawnień oraz rozwiązań organizacyjnych, minimalizujących czas trwania cyklu wytwarzania zmniejszając tym samym poziom kosztów generowanych przez cały proces produkcyjny [1].

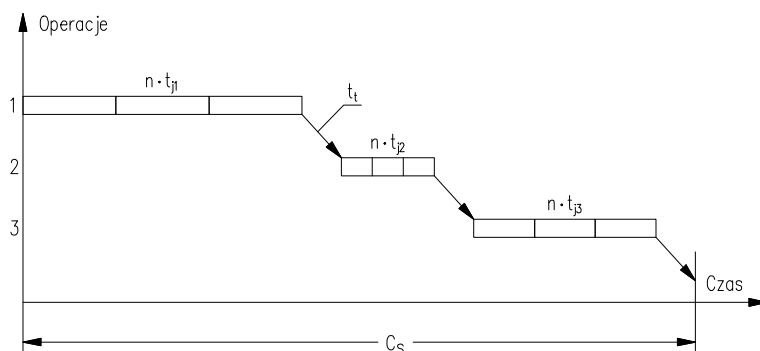
2. Wybrane systemy organizacji przepływu półfabrykatów

- System szeregowy

Głównym założeniem przy wdrożeniu do procesu produkcyjnego przepływu szeregowego jest maksymalne wykorzystanie każdego stanowiska roboczego. Cała partia elementów przeznaczonych do obróbki zostaje wykonana na jednym stanowisku produkcyjnym i dopiero po wykonaniu wszystkich niezbędnych elementów przesyłana zostaje na kolejne stanowisko, rys. 1. Takie działanie powoduje występowanie zahamowania przepływu produkowanych elementów, czego konsekwencją jest tworzenie się licznych zapasów międzyoperacyjnych oraz przerw w czasie trwania produkcji. Występowanie zjawiska przestoju prac wytwórczych negatywnie wpływa na poziom wykorzystania zasobów produkcyjnych oraz zmniejsza wydajność zakładu. Mimo dużej ilości wad, system szeregowego przepływu produkowanych elementów posiada najmniej wygórowane wymagania, których spełnienie pozwala na jego skuteczne zastosowanie w praktyce. Przerwy w trakcie trwania produkcji uważane powszechnie za marnotrawstwo czasu, w niektórych przypadkach stanowią rezerwę czasową, pozwalającą na elastyczną zmianę terminu wykonania wybranych zadań produkcyjnych, czyli inaczej modyfikację pierwotnie zaplanowanego harmonogramu wytwarzania [1,3].

Założenia:

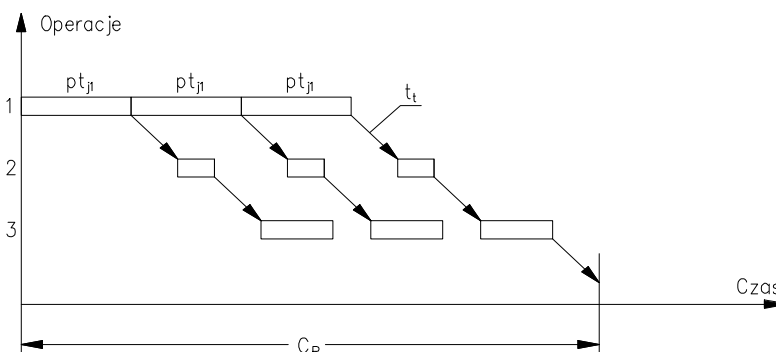
m – liczba operacji, t_j – czas jednostkowy operacji, n – wielkość partii produkcyjnej, p – wielkość partii transportowej, t_t – czas operacji transportowej, C_s , C_r , C_{sr} – całkowity czas trwania systemu szeregowego, równoległego, szeregowo równoległego



Rys. 1. System szeregowy [4]

– System równoległy

W przypadku systemu równoległego, wykonywany element zaraz po zakończeniu określonej operacji, zostaje niezwłocznie przetransportowany na kolejne stanowisko robocze, na stanowisku tym realizowane są dalsze działania zmierzające do wykonania elementu finalnego. Stanowisko przyjmujące element powinno być gotowe do natychmiastowego podjęcia realizacji zadanej operacji, rys. 2. Gdy czas trwania poszczególnych operacji jest równy bądź, jest wielokrotnością pewnej ilości operacji odbywających się w krótszych seriach czasowych można stwierdzić, że zastosowany przepływ równoległy realizuje zasadę ciągłości przepływu elementów. W innych przypadkach występuje konieczność przestojów maszyn, których rytm pracy zdeterminowany jest czasem trwania poprzedzającego go zadania produkcyjnego. W celu zmniejszenia strat związanych z przestojami poszczególnych stanowisk, podejmowane powinny być próby mające na celu wyrównanie rytmów pracy wszystkich jednostek produkcyjnych lub też minimalizacji występujących odstępów czasowych powstających pomiędzy realizowanymi operacjami [1-3].

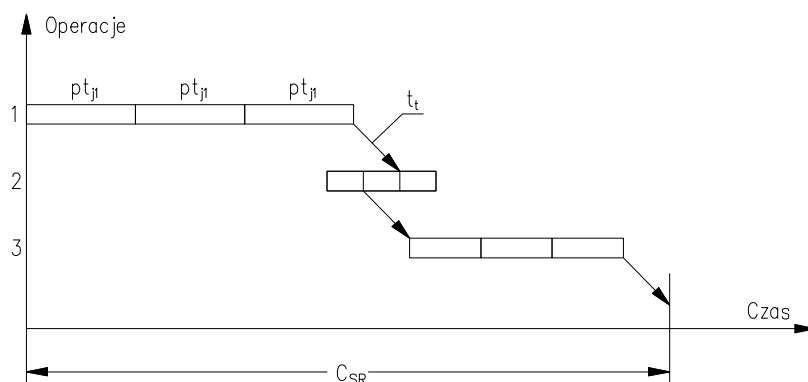


Rys. 2. System równoległy [4]

– System szeregowo-równoległy

Podstawową cechą systemu szeregowo-równoległego jest połączenie dwóch wcześniej przedstawionych systemów, w sposób umożliwiający prowadzenie produkcji nieprzerwanie przy jednoczesnym zmniejszeniu stopnia generowanych zapasów międzyoperacyjnych. W tym celu, stanowisko oczekujące na wykonanie procesu obróbki nie czeka na realizację całej partii elementów produkowanych na stanowisku poprzedzającym, a zaczyna pracę najwcześniej jak jest to możliwe. W przypadku tym występuje konieczność synchronizacji zadań polegająca (w zależności od rozpatrywanego przypadku) na niezwłocznym przystąpieniu stanowiska do zadania lub też na jego opóźnieniu, rys. 3 [2].

Opracowanie dokładnego harmonogramu uwzględniającego usytuowanie w czasie poszczególnych operacji bazuje w głównej mierze na teoretycznej synchronizacji czasu ich pracy. Skrupulatnie przygotowany harmonogram, pozwalający na uzyskanie przepływu szeregowo-równoległego jest trudny do wdrożenia. Zdarzenia losowe, takie jak np.: nieterminowe dostawy materiałów, awarie maszyn czy błędy popełnione przez personel produkcyjny, mogą powodować wydłużenie czasu danej operacji, co wiąże się w sposób bezpośredni z ryzykiem kolidowania zadań rzeczywistych ze zdarzeniami zaplanowanymi w harmonogramie. Brak pełnej synchronizacji zdarzeń wynikający z powstałego opóźnienia lub ewentualnego braku możliwości podjęcia operacji w dokładnie wyznaczonym terminie, uniemożliwia wdrożenie poprawnie funkcjonującego przepływu szeregowo-równoległego.



Rys. 3. System szeregowo-równoległy [4]

3. Symulacja i analiza parametrów procesu produkcyjnego

Przedmiotem przeprowadzonych badań, opisanych w artykule było dokonanie analizy i oceny poszczególnych wariantów organizacji cyklu wytwarzania. Analizie poddany został proces produkcyjny wałów stopniowych, realizowany w istniejącym zakładzie produkcyjnym, specjalizującym się w produkcji elementów maszyn. W wyniku dużej liczby zleceń otrzymywanych przez zakład produkcyjny oraz krótkich terminów ich realizacji określona została potrzeba skrócenia czasu trwania procesu produkcyjnego, wynikająca ze zmiany organizacji przepływu elementów pomiędzy poszczególnymi stanowiskami roboczymi.

W celu pozyskania wyników niezbędnych do przeprowadzenia analizy, w oprogramowaniu symulacyjnym FlexSim zbudowany został model odzwierciedlający

rozpatrywany proces. W zależności od zastosowanego rodzaju przepływu materiałów oraz wielkości partii (uwarunkowanej wielkością zamówienia), zweryfikowane zostały parametry generowane przez analizowany proces (czas trwania produkcji, poziom generowanych kosztów). W rezultacie przeprowadzonej symulacji komputerowej uzyskane zostały wyniki umożliwiające wybór najlepszego z pośród badanych wariantów organizacji przepływu (zapewniającego skrócenie czasu i kosztów produkcji).

Na początkowym etapie tworzenia modelu symulacyjnego określone zostały założenia dotyczące rozpatrywanego procesu wytwarzania, tj.:

- zbudowany model obejmował proces produkcyjny wału stopniowego dla dwóch wielkości partii – 30 oraz 100 sztuk,
- zweryfikowane zostały trzy rodzaje przepływu: szeregowy, równoległy oraz szeregowo-równoległy,
- proces produkcyjny obejmował wykonanie tylko i wyłącznie jednej serii elementów wybranego typu,
- nie uwzględniona została awaryjność poszczególnych stanowisk produkcyjnych oraz pominięto fakt ewentualnych opóźnień spowodowanych zdarzeniami losowymi.

W celu dokonania odwzorowania istniejącego procesu produkcyjnego, ustalone zostały zbiory wielkości: wejściowych (rodzaj i czas przepływu materiału), wyjściowych (czas wykonania określonej partii elementów), stałych (rodzaj i czas wykonania operacji technologicznych oraz wykorzystywane stanowiska produkcyjne i ich rozmieszczenie).

W tabeli 2, zestawiono dane dotyczące czasu trwania poszczególnych operacji technologicznych, marszruty procesu oraz stanowisk, na których realizowane zostaną wybrane operacje. Czas trwania operacji technologicznych przedstawiony w tabeli 2, obejmuje całkowitą długość wykonania danej operacji produkcyjnej (nie występuje w niej podział na czas jednostkowy oraz przygotowawczo-zakończeniowy).

Tab. 2. Wykaz operacji technologicznych wraz z czasem ich trwania

Kolejność wykonywanych operacji w trakcie trwania procesu produkcji oraz czas ich realizacji			
Numer operacji	Operacja	Stanowisko	Czas trwania [h]
1.	Cięcie materiału	Piła	0,11
2.	Frezowanie czoła i wykonanie nakiełków	Tokarka	0,25
3.	Toczenie zgrubne	Tokarka	1,35
4.	Toczenie kształtujące	Tokarka	0,92
5.	Frezowanie rowków wpustowych	Frezarka	0,67
6.	Szlifowanie	Szlifierka	0,33
7.	Gradowanie	Warsztat ślusarski	0,10
8.	Kontrola jakości	KT	0,03

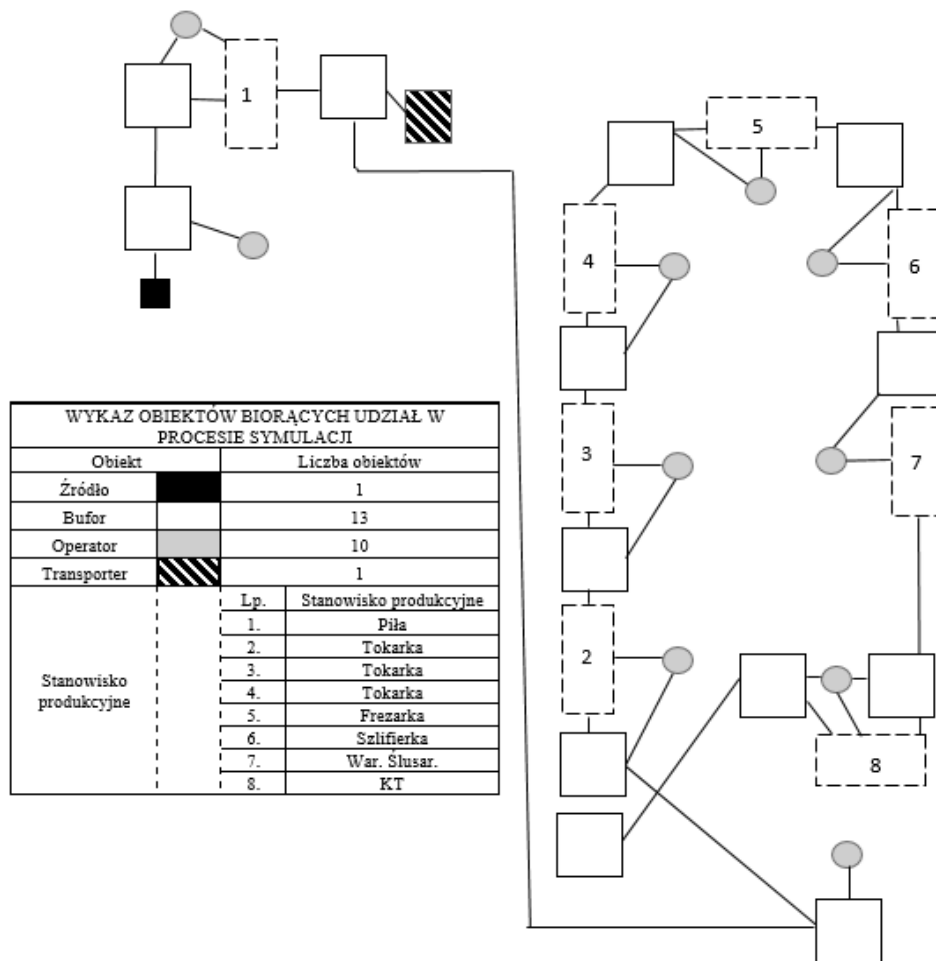
W modelowanym procesie produkcyjnym, realizowany jest transport międzyoperacyjny wykorzystujący różne środki transportu. Kolejność wykonywanych operacji transportowych przedstawiona została w tabeli 3.

Tab. 3. Kolejność wykonania operacji transportowych i rodzaj zastosowanego transportu

Kolejność wykonywanych operacji transportowych w trakcie procesu produkcyjnego (rysunek 4)		
Numer operacji	Operacja transportowa	Środek transportu
1	Transport półfabrykatu z magazynu na stanowisko cięcia materiału	Operator
2	Transport elementów pomiędzy buforem 2-3 i stanowiskiem produkcyjnym 1	Operator
3	Transport elementu pomiędzy buforami 3-4	Transporter
4	Transport elementu pomiędzy buforami 5-6 i stanowiskiem produkcyjnym 2	Operator
5	Transport elementu pomiędzy buforami 6-7 i stanowiskiem produkcyjnym 3	Operator
6	Transport elementu pomiędzy buforami 7-8 i stanowiskiem produkcyjnym 4	Operator
7	Transport elementu pomiędzy buforami 8-9 i stanowiskiem produkcyjnym 5	Operator
8	Transport elementu pomiędzy buforami 9-10 i stanowiskiem produkcyjnym 6	Operator
9	Transport elementu pomiędzy buforami 10-11 i stanowiskiem produkcyjnym 7	Operator
10	Transport elementu pomiędzy buforami 11-12-13 i stanowiskiem produkcyjnym 8	Operator

3.1. Budowa modelu symulacyjnego

Zadaniem budowanego modelu symulacyjnego było wierne odwzorowanie rozpatrywanego procesu produkcyjnego. Dlatego też niezbędnym stało się poprawne zamodelowanie całego układu symulacyjnego, wraz z określeniem relacji zachodzących pomiędzy poszczególnymi obiektami oraz nadaniem im charakterystycznych wielkości. Do elementów składowych, wchodzących w skład modelu zaliczały się: 4 obiekty infrastruktury, 11 stanowisk produkcyjnych, 10 operatorów, 13 buforów międzyoperacyjnych, 1 transporter, a także pozostałe obiekty, niebiorące czynnego udziału w procesie produkcji a znajdujące się na terenie zakładu produkcyjnego. Na rysunku 4, przedstawiony został schemat ukazujący algorytm połączeń pomiędzy obiektami biorącymi czynny udział w procesie produkcyjnym.



Rys. 4. Algorytm połączeń obiektów w programie FlexSim

Stworzenie modelu symulacyjnego, którego zadaniem było odzwierciedlenie przebiegu procesów produkcyjnych, ale i wizualnej rzeczywistości panującej w rozpatrywanym zakładzie, zdeterminowało potrzebę zamodelowania obiektów przestrzennych tworzących ów model. W opisywanym przypadku, do wykonania modeli odzwierciedlających rzeczywistość panującą w zakładzie produkcyjnym, wykorzystane zostały dwa typy narzędzi graficznych: Siemens NX oraz Autodesk 3DS MAX 2016. Za ich pośrednictwem wykonane zostały zarówno obiekty infrastruktury, jak i pozostałe elementy wchodzące w skład modelowanej struktury, rys. 5, [5].

W trakcie procesu implementacji obiektów do oprogramowania symulacyjnego FlexSim zwrócono szczególną uwagę na zgodność skali importowanych elementów oraz ich prawidłowe usytuowanie na polu roboczym programu symulacyjnego. Powstawanie błędów związanych z brakiem zgodności budowanej struktury z modelem wzorca (zakładem produkcyjnym) wpływa na wydłużenie lub skrócenie odległości pomiędzy poszczególnymi obiektami, wydłużając lub skracając tym samym czas przemieszczeń obiektów realizujących operacje transportowe.



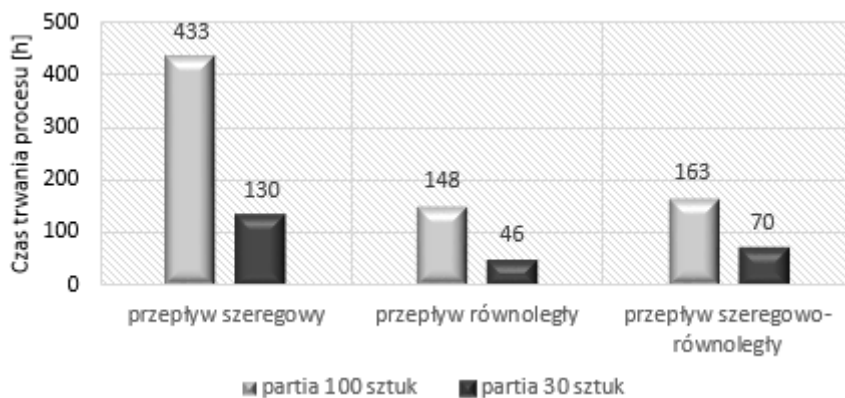
Rys. 5. Rozmieszczenie stanowisk na hali produkcyjnej

Po zbudowaniu modelu symulacyjnego i połączeniu wszystkich elementów, zdefiniowane zostały parametry określające czas trwania poszczególnych operacji, wielkość serii produkcyjnej, wysokość kosztu pracy danej jednostki oraz sposób przepływu produkowanych detali. Wysokość kosztu pracy wybranego stanowiska produkcyjnego obliczona została na podstawie analizy wydatków: wydziałowych, ogólnego zarządu oraz teoretycznych kosztów wynikających z zakładanej ceny sprzedaży produkowanego elementu oraz ceny kupna surowców. W rozpatrywanym przypadku, koszt pracy lub postoju jednego stanowiska produkcyjnego ustalony został na niezmiennym poziomie równym 14,61 €/godz.

3.2. Analiza wyników

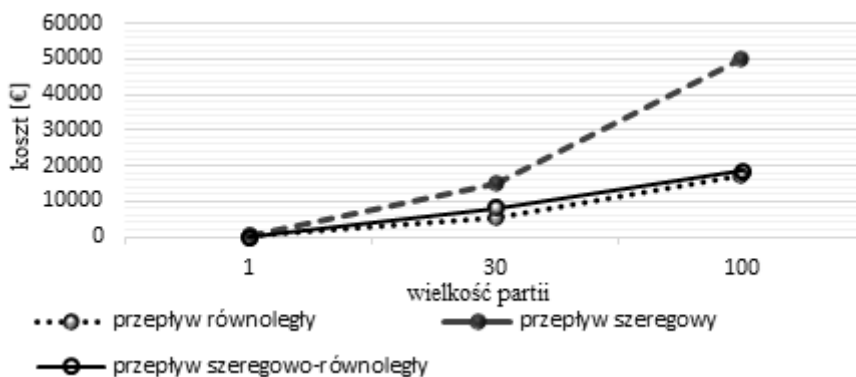
Na podstawie przeprowadzonej symulacji, uzyskano wyniki charakteryzujące wybrane systemy organizacji przepływu. Raporty wygenerowane przez oprogramowanie symulacyjne i przeprowadzona na ich podstawie analiza, pozwoliły na przedstawienie wybranych parametrów rozpatrywanego procesu produkcyjnego w sposób umożliwiający wybór najbardziej optymalnego z spośród badanych rozwiązań, determinujących rodzaj systemu przepływu produkowanych elementów. W efekcie końcowym otrzymany pakiet wyników pozwolił na zobrazowanie czasu trwania procesu produkcyjnego, wysokość generowanych przez niego kosztów, a także procentowego udziału poszczególnych stanowisk produkcyjnych w stosunku do całkowitego czasu cyklu wytwarzania. Wpływ poszczególnych wielkości partii oraz rodzaj zastosowanego przepływu na czas wykonania wałów stopniowych przedstawiono na rysunku 6. Po przeprowadzeniu symulacji komputerowej otrzymane zostały wyniki jednoznacznie wskazujące na to, że przy produkcji 30 oraz 100 sztuk elementów, przepływ równoległy daje możliwości wyprodukowania całej partii w najkrótszym czasie. Skrócenie czasu realizacji cyklu wytwarzania spowodowane jest brakiem długotrwałych przerw w procesie produkcji wynikających z oczekiwania stanowiska pracy na zakończenie wcześniejszych operacji. Charakterystyczna dla przepływu równoległego duża liczba operacji transportowych, (teoretycznie negatywnie wpływająca na czas trwania cyklu wytwarzania) w rozpatrywanym przypadku nie odegrała znaczącej roli. Spowodowane jest to występowaniem w zakładzie linii produkcyjnej typu U-kształtnej, charakteryzującej się bliską odległością występowania stanowisk produkcyjnych,

rozmieszczonych zgodnie z obowiązującą marszrutą prac realizowanych w ramach procesu wytwarzania [6].



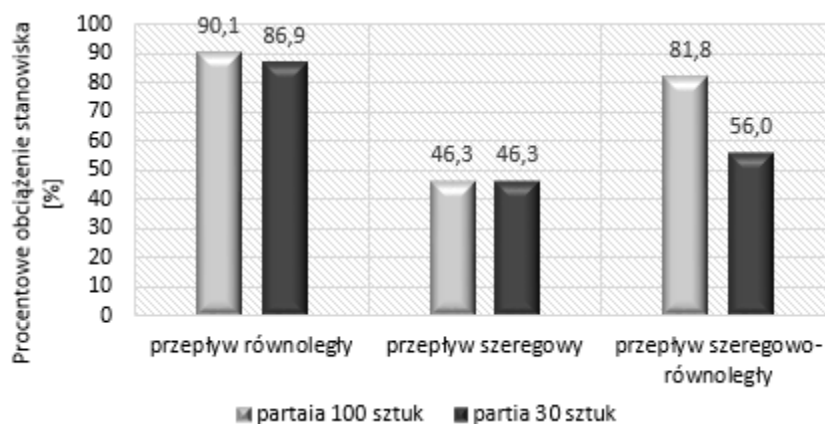
Rys. 6. Czas trwania procesu produkcji

Bezpośredni wpływ czasu trwania produkcji na poziom generowanych kosztów sprawił, że podobnie jak miało to miejsce we wcześniejszym przypadku, najkorzystniejszym ekonomicznie (generującym najmniejsze koszty) okazał się przepływ równoległy rys. 7. Dla porównania, podczas realizacji 30 oraz 100 sztuk wałów stopniowych koszt zastosowania w procesie produkcji przepływu szeregowego spowoduje wzrost kosztów o około 30% w porównaniu z przepływem równoległym.



Rys. 7. Koszty generowane przez proces produkcyjny

Na rysunku 8, zobrazowany został wykres ukazujący stopień wykorzystania stanowiska tokarskiego, realizującego operacje 3 (tabela 3). Stanowisko to charakteryzuje się największym obciążeniem.



Rys. 8. Obciążenie stanowiska produkcyjnego „Tokarka”

Na podstawie analizy uzyskanych wyników stwierdzono, że zastosowanie przepływu szeregowego powoduje procentowy spadek wykorzystania wszystkich stanowisk produkcyjnych w stosunku do całkowitego czasu trwania procesu produkcyjnego (obejmującego czas realizacji wszystkich operacji technologicznych, transportowych oraz magazynowania międzyoperacyjnego), tabela 4.

Tab. 4. Udział pracy w czasie stanowisk produkcyjnych w zależności od rodzaju zastosowanego systemu przepływu i wielkości partii

System przepływu	Równoległy		Szeregowy		Szeregowo-równoległy	
	30	100	30	100	30	100
Piła	7,6%	7,9%	2,7%	2,7%	4,9%	7,2%
Tokarka 1	16,3%	16,9%	5,8%	5,8%	10,5%	15,3%
Tokarka 2	86,9%	90,1%	43,6%	43,6%	56,0%	81,0%
Tokarka 3	59,7%	61,9%	21,1%	21,1%	38,5%	56,3%
Frezarka	43,4%	45,0%	15,4%	15,4%	28,0%	40,9%
Szlifierka	21,7%	22,5%	7,7%	7,7%	14,0%	20,5%
Warsztat ślusarski	6,5%	6,8%	2,3%	2,3%	4,2%	6,1%
Kontrola jakości	2,2%	2,3%	0,8%	0,8%	1,4%	2,0%

W przypadku przepływu równoległego i szeregowo-równoległego procentowy stopień wykorzystania stanowisk jest wyższy przy realizacji 100 sztuk elementów niż ma to miejsce podczas produkcji 30 sztuk. Takie zjawisko spowodowane jest zmniejszeniem się procentowego udziału czasu oczekiwania stanowiska pierwszego (piła) na dostarczenie materiału wejściowego.

4. Podsumowanie

Rodzaj systemu organizacji przepływu, jest jednym z najważniejszych parametrów definiujących efektywność procesu produkcyjnego. Wybór określonego przepływu winien zostać zweryfikowany pod kątem poziomu szacowanych zysków i uwzględniać wszelkie

aspekty związane z występowaniem ewentualnych utrudnień powstających w trakcie jego funkcjonowania. Jednym z narzędzi umożliwiających dokonanie szybkiej weryfikacji sprawności danego procesu wytwarzania jest symulacja komputerowa. Pozwala ona na dokładne odzwierciedlenie rozpatrywanego procesu produkcyjnego oraz pozyskanie wyników generowanych przez dany proces.

Na podstawie wyników pozyskanych w rezultacie przeprowadzenia symulacji komputerowej lub pomiarów bezpośrednich realizowanych w trakcie trwania produkcji należy wziąć pod uwagę, że złożoność procesu produkcyjnego oraz w wielu przypadkach jego niepowtarzalność, utrudnia sformułowanie tezy jednoznacznie wskazującej na to, który z badanych rodzajów przepływu jest najkorzystniejszy, zależy to, bowiem od specyfiki zakładu produkcyjnego oraz przyjętej przez niego strategii definiującej określone priorytety.

W rozpatrywanym przypadku, przeprowadzona została symulacja komputerowa w rezultacie, której zweryfikowane zostały wybrane systemy organizacji przepływu, mające na celu skrócenie czasu trwania procesu produkcyjnego umożliwiając tym samym przyjęcie większej liczby zamówień przy jednoczesnym zmniejszeniu kosztów produkcji. W przypadku produkcji 30 oraz 100 sztuk elementów (przy założeniu, że produkowana jest tylko i wyłącznie jedna partia elementów, bez przerw na inne prace) najkorzystniejszym okazał się przepływ równoległy, zapewniał on najkrótszy czas trwania procesu wytwarzania przy jednoczesnej minimalizacji kosztów.

Literatura

1. Lisowski B., Kozłowski R.: Podstawowe zagadnienia zarządzania produkcją. Oficyna ekonomiczna, Kraków, 2006r.
2. Pająk E.: Zarządzanie produkcją. Produkt, technologia, organizacja. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2006r.
3. Pawlak S.: Określenie wpływu zastosowanego cyklu produkcji na czas trwania procesu wytwarzania i wysokość generowanych kosztów. Gliwice, 2016r.
4. http://www.ioz.pwr.wroc.pl/pracownicy/chlebus/pliki/Zadania/CYKL_PRODUKCJI.pdf (dostęp 22.12.2016r.)
5. Lavery E., Beaverstock M., Greenwood A., Nordgren W.: Applied Simulation: Modeling and Analysis Using FlexSim. FlexSim Software Products, 2011r.
6. Matusek M.: Doskonalenie przepływu materiałów w U-kształtnej linii montażowej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Nr 1871, Seria: Organizacja i Zarządzanie, z. 60/2012, s. 189-201.

Mgr inż. Szymon PAWLAK
Dr hab. inż. Krzysztof NOWACKI, prof. nzw. w Pol. Śl.
Katedra Inżynierii Produkcji
Politechnika Śląska
40-019 Katowice ul. Krasińskiego 8
e-mail: szymon.pawlak@polsl.pl
krzysztof.nowacki@polsl.pl