

Alicja WÓJCIK  
Marcela ZABOST\*

**SYMULACJA JAKO NARZĘDZIE  
DOSKONALENIA PRZEPIYWU PRODUKCJI  
NA PRZYKŁADZIE ANALIZOWANEGO PRZEDSIĘBIORSTWA –  
CASE STUDY**

**Słowa kluczowe:** symulacje komputerowe, optymalizacja, procesy logistyczne

**STRESZCZENIE**

Optymalizacja procesów zachodzących w przedsiębiorstwie, szczególnie produkcyjnym, stanowi nieodzowną część strategii firm. Symulacja, za pomocą odpowiedniego oprogramowania, pozwala na sprawdzenie celowości i opłacalności wprowadzenia danych rozwiązań, przy niskich kosztach weryfikacji. Jest to niedoceniana możliwość, której użyteczność postanowiono przedstawić w referacie opartym na realnym przykładzie.

**1. WSTĘP**

W dzisiejszych czasach, gdy konkurencyjność stanowi jeden z najważniejszych czynników istoty firmy na rynku, przedsiębiorstwa produkcyjne bezustannie muszą dążyć do rozwoju. Poszukują więc rozwiązań bardziej efektywnych, niwelujących straty i umożliwiających ograniczenie wszelkiego rodzaju awarii oraz przestojów na liniach produkcyjnych. Rozkwit technologii oraz wsparcie sektora informatycznego daje szanse podejmowania decyzji bez konieczności ich natychmiastowego wdrażania, a co za tym idzie narażania przedsiębiorstwa na koszty. Powstałe oprogramowania symulacyjne pozwalają na odwzorowanie rzeczywistych warunków panujących w przedsiębiorstwie i nieinwazyjne sprawdzenie możliwych rozwiązań.

---

\* Koło Naukowe "Logistyka", Politechnika Poznańska

## 2. WSTĘP TEORETYCZNY

### 2.1. SYMULACJA

Jest to metoda wnioskowania o zachowaniu się obiektów rzeczywistych na podstawie obserwacji działania programów komputerowych symulujących to zachowanie (tzw. modeli symulujących) [1]. Pozwala na badanie problemów obciążenia personelu i sprzętu, produktywności, transportu i logistyki wewnętrznej oraz tworzenie i testowanie usprawnień. Właściwie zaprogramowane eksperymenty umożliwiają znalezienie optymalnych rozwiązań spośród dziesiątek tysięcy możliwości. W tym celu wykorzystuje się oprogramowania symulacyjne.

### 2.2. FLEXSIM

Jest to oprogramowanie symulacyjne pozwalające na intuicyjne odwzorowanie oraz optymalizację zaawansowanych procesów zachodzących w branży logistycznej, produkcyjnej, motoryzacyjnej, handlu, czy też służbie zdrowia [2]. Program pozwala na modelowanie w 3D, generowanie wykresów, statystyk oraz raportów, a także przeprowadzanie eksperymentów i sprawdzanie alternatywnych scenariuszy. Posiada zaawansowane mechanizmy symulacji i optymalizacji, które pozwalają uzyskać pożądane rezultaty, a także ułatwić podejmowanie decyzji.

### 2.3. WSKAŹNIKI AWARII

Awaria techniczna – gwałtowne, nieprzewidziane uszkodzenie lub zniszczenie obiektu budowlanego, urządzenia technicznego lub systemu urządzeń technicznych powodujące przerwę w ich używaniu lub utratę ich właściwości [3].

Wskaźnik MTBF (Mean Time Between Failure) to średni czas pomiędzy awariami lub częstość awarii. Wskaźnik rozumiany jest jako średni czas pracy pomiędzy awariami w określonym czasie. Pokazuje, jak często ze statycznego punktu widzenia następuje uszkodzenie danego obiektu technicznego.

Wskaźnik MTTR (Mean Time To Repair) określa średni czas potrzebny na naprawę w momencie wystąpienia awarii. Rozumiany jest jako średni czas trwania rzeczywistej naprawy od momentu zgłoszenia do momentu jej zakończenia [4].

## 2.4. OFD

OFD (Object Flow Diagram) to obiektowy schemat przepływu, sposób obrazowania procesu, jego elementów, relacji zachodzących między nimi. Jest to graficzna prezentacja przepływu danych w procesie. Diagram OFD jest swego rodzaju „szkieletem“ modelu symulacyjnego, jednak nie uwzględnia on szczegółowych procedur czy też złożonej logiki.

## 3. TŁO KONCEPCJI

### 3.1. OPIS PRZEDSIĘBIORSTWA

Omawiany proces zachodzi w przedsiębiorstwie charakteryzującym się produkcją dóbr z branży FMCG. Firma należy do międzynarodowego koncernu z siedzibą w Niemczech. Zatrudnia ponad 200 osób. Aktualnie w fabryce produkuje się do 9000 ton produktu rocznie. Dzięki najnowszym technologiom, urządzeniom, systemom oraz wykwalifikowanym pracownikom, każdy wytworzony produkt jest najwyższej jakości. Wyroby te cieszą się dużym popytem i dostępne są w sklepach na całym świecie.

### 3.2. PRZEDMIOT DYSKUSJI

Przedmiot tego referatu swoim zakresem obejmuje działanie linii produkcyjnej. Jego celem jest poprawienie płynności produkcji. Problem, z jakim zmierzono się, obejmował przeanalizowanie linii pod kątem stworzenia buforu produkcyjnego w miejscu występowania wąskiego gardła, tak aby usprawnić przebieg produktów. Zaproponowano użycie programu FlexSim w celu stworzenia symulacji, zbadania stanu obecnego i zaproponowania konkretnego, optymalnego rozwiązania.

### 3.3. DANE WEJŚCIOWE

Wykorzystywane w projekcie dane otrzymano od przedsiębiorstwa. Obejmowały one okres trzech miesięcy (od lutego do kwietnia 2016 roku) i dotyczyły ciągłości produkcji w firmie. Były to informacje zawierające dokładne godziny, w których trwała produkcja, a także dane dotyczące przestojów i mikroprzestojów maszyn wchodzących w skład linii produkcyjnej. Dzięki znajomości programów komputerowych przekształcono dane w taki sposób, aby możliwe było ich użycie w programie Expertfit, a następnie przeprowadzenie symulacji w warunkach zbliżonych do tych, które realnie występują w badanym przedsiębiorstwie. Podczas prac nad symulacją, korzystano z programów takich jak

FlexSim 2016, AutoCad 2010, SketchUp 2013, Microsoft Excel oraz z dostępnych zasobów programu Flexsim 2016, czyli z funkcji Expertfit oraz eksperymentator.

#### 4. ANALIZA PRZEPIYWU

##### 4.1. PRZEPIYW PRODUKCJI

Referat obejmuje swoim zakresem przepływ w całej linii produkcyjnej znajdującej się w przedsiębiorstwie z branży artykułów FMCG. Cały proces rozpoczyna się od dostarczenia opakowań jednostkowych z magazynu znajdującego się na piętrze na linię za pomocą przenośnika. Opakowania te przesuwane są do następnej w kolejności maszyny-napełniaczki, której zadaniem jest wtłoczenie do pojemnika gotowej masy wyrobu.

Po napełnieniu dalszym etapem jest zabezpieczenie staniolem, który ma za zadanie chronić produkt przed wylaniem czy też niepożądanym wydostaniem się z pojemnika. Dlatego też ważne jest, aby cynfolia została dobrze zgrzana z brzegami.

Po tej części następuje przeniesienie na maszynę, gdzie nakładana jest nakrętka, która, tak jak opakowania jednostkowe, jest transportowana ze źródła znajdującego się na piętrze. Na tym etapie produkt zostaje przeniesiony na transporter wyposażony dodatkowo w wagę, gdzie odbywa się wstępna kontrola. Później zostaje przetransportowany na bufor, skąd przechodzi na etykietarkę, która nakleja etykiety zawierające między innymi informacje o nazwie, składnikach użytych do wytworzenia wyrobu czy partii.

Kolejny przenośnik łączy etykietarkę z kartoniarką, która pakuje każde opakowanie jednostkowe w małe kartonowe pudełko. Tu następuje rozłamanie na produkty celofonowane bądź nie, w zależności od rodzaju wyrobu lub zamówienia klienta. Po celofoniarce lub jej pominięciu, pojedyncze kartoniki transportowane są przez przenośnik na urządzenie zgrzewające, które łączy je w zespoły po trzy sztuki zapakowane w folię polietylenową termokurczliwą.

Następnie produkty, znów przy użyciu przenośnika, przechodzą na kartoniarkę, jednak tym razem pakowane są w kartony po 6 sztuk lub po 12, w zależności od zlecenia produkcyjnego. Na koniec towar przechodzi przez kolejną etykietarkę oraz paletyzator. Funkcje ostatniej wymienionej maszyny pełni robot, który przekłada gotowe do wydania produkty na dwie palety. Proces paletyzacji jest ostatnim objętym przez referat.

## 4.2. PRZEPIY W PRODUKCJI W JĘZYKU SYMULACJI

Analizę rozpoczęto od stworzenia OFD. Do zbudowania modelu symulacyjnego określonego systemu niezbędne jest stworzenie jego mapy, opisując zachodzące w nim procesy tak, aby móc to przełożyć na język symulacyjny. To właśnie diagram OFD pozwala na uwzględnienie charakterystyki podstawowych elementów oraz relacji zachodzących między nimi. Powoduje to możliwość przemyślenia całego systemu jeszcze przed jego modelowaniem. Symbole diagramu OFD reprezentują podstawowe elementy wykorzystywane przez symulatory.

Każde OFD zawiera części składowe, których znaczenie wraz z symbolami przedstawione jest poniżej:

1. Proces – odwzoruje wykonywane działanie na elemencie przepływu (flowitem).



**Rys. 1.** OFD- oznaczenie procesu.

*Źródło: Opracowanie własne.*

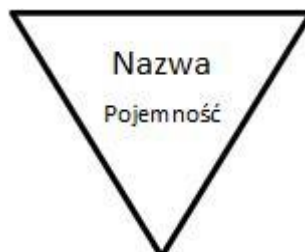
2. Transport – odwzorowuje czynności transportowe i przewóz elementów przepływu (flowitem).



**Rys. 2.** OFD- oznaczenie transportu.

*Źródło: Opracowanie własne.*

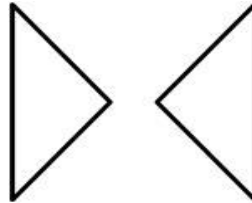
3. Magazynowanie – miejsce czasowego przechowywania elementów przepływu (flowitem).



**Rys. 3.** OFD- oznaczenie magazynowania.

*Źródło: Opracowanie własne.*

4. Grupowanie/rozgrupowanie – symbole te dodawane są przeważnie do zasobów stałych. Odwzorowują połączenie elementów w jeden zespół (lub odwrotnie). Umieszczenie lewego symbolu po lewej stronie obiektu lub stronie wejścia oznacza łączenie. Zaś umieszczenie prawego symbolu po prawej stronie obiektu lub stronie wyjścia oznacza rozgrupowanie.



**Rys. 4.** OFD- oznaczenie grupowania.  
*Źródło: Opracowanie własne.*

5. Czas trwania – czynność lub zadanie wykonywane przez podstawowy obiekt operacji. Często stosowany w połączeniu z innymi symbolami.



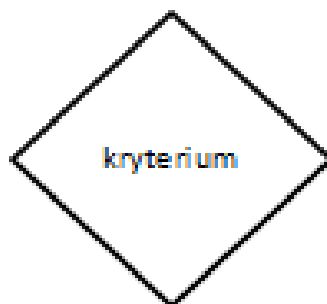
**Rys. 5.** OFD- oznaczenie czasu trwania.  
*Źródło: Opracowanie własne.*

6. Przepływ/trasa – jest to połączenie pomiędzy stałymi zasobami. Z założenia przepływ wymaga określonego czasu, jednak nie jest to zaznaczane na diagramie. Ponadto z przepływem zazwyczaj wiążą się zasoby ruchome.



**Rys. 6.** OFD- oznaczenie przepływu.  
*Źródło: Opracowanie własne.*

7. Wybór – to reguła decyzji. Element ten wykorzystywany jest zazwyczaj w przypadku obiektów stałych przy podejmowaniu decyzji o przekierowaniu elementu przepływu nadaną ścieżką czy zgodnie z zasadą pull.



**Rys. 7.** OFD- oznaczenie wyboru.  
*Źródło: Opracowanie własne.*

8. Źródło – to jedna z granic systemu. Generuje(tworzy) elementy przepływające przez model.



**Rys. 8.** OFD- oznaczenie źródła.  
*Źródło: Opracowanie własne.*

9. Wyjście – to druga z granic systemu. Niszczy elementy przepływające przez model.



**Rys. 9.** OFD- oznaczenie wyjścia.  
*Źródło: Opracowanie własne.*

10. Transport (zasób) – wskazuje kierunek ścieżki zasobu ruchomego.



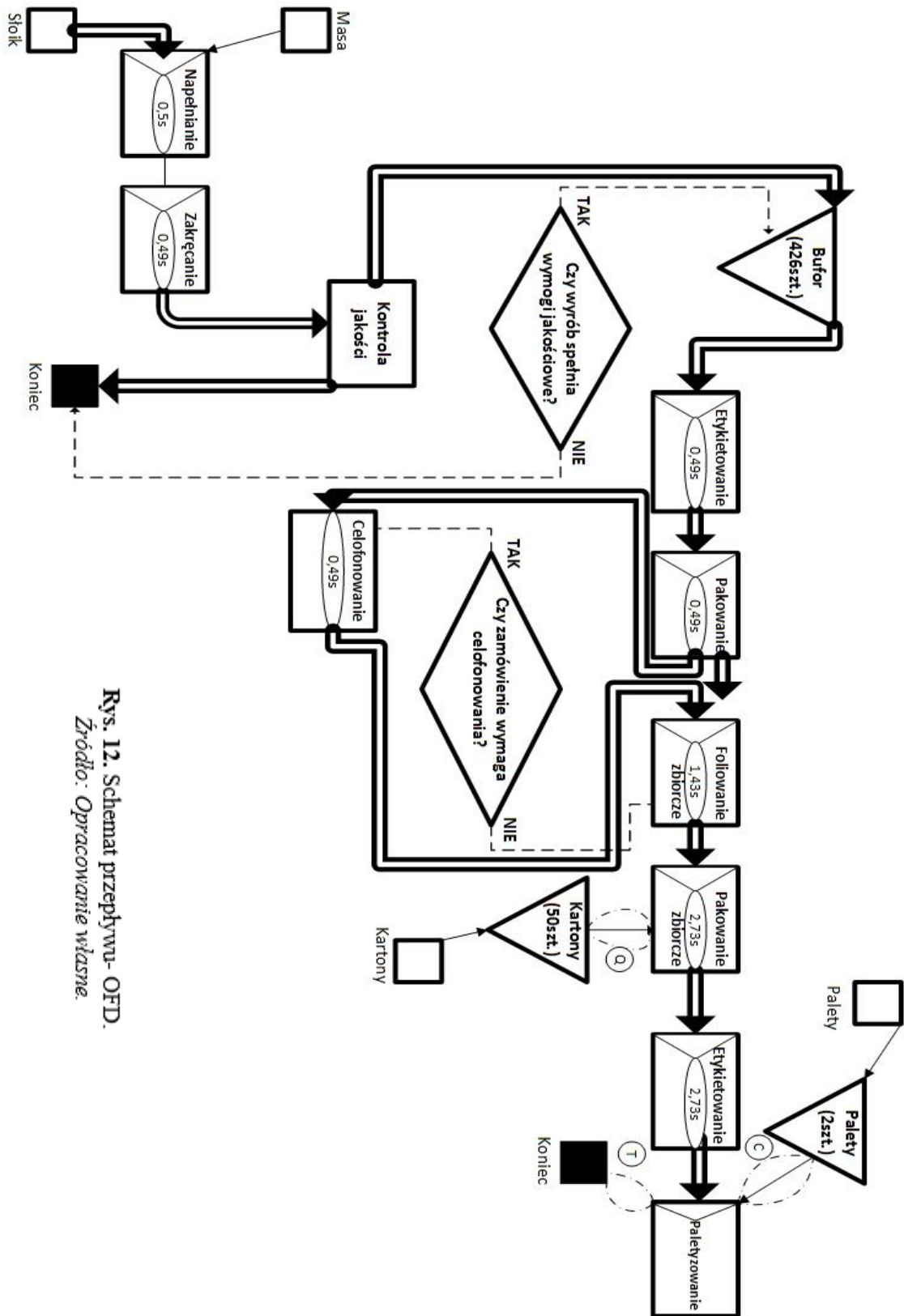
**Rys. 10.** OFD- oznaczenie transportu (zasobu).  
*Źródło: Opracowanie własne.*

11. Komunikacja – linie to obrazują przepływ elementu, wiążą się z przekazywaniem informacji lub wiadomości.[5]



**Rys. 11.** OFD- oznaczenie komunikacji.  
*Źródło: Opracowanie własne.*

Na kolejnej stronie przedstawiono OFD dla rozpatrywanego procesu.



Rys. 12. Schemat przepływu- OFD.  
 Źródło: Opracowanie własne.



## 5. SYMULACJA W PROGRAMIE FLEXSIM

### 5.1. ODWZOROWANIE WARUNKÓW RZECZYWISTYCH

Na początku symulacji zostały określone podstawowe jednostki miary odległości oraz czasu. Przywiązano do tego szczególną uwagę, ponieważ jest to jeden z nielicznych parametrów projektowania symulacji w programie FlexSim, który przyjęty raz jest nieodwracalny – musi być zatem dobrze przemyślany.

Jako jednostkę odległości przyjęto milimetry, natomiast czas ustawiono na sekundy. Ustalono także, iż rozpatrywany w symulacji okres będzie obejmował dwie zmiany robocze, tj. 16 h. Projektowanie rozpoczęto od odwzorowania stanu faktycznego stanowiącego wersję 1. W tym celu wykorzystano obiekty dostępne w bibliotece programu. Jednak aby linia produkcyjna wyglądała bardziej realistycznie, spersonalizowano kształty maszyn poprzez zaprojektowanie ich w programie SketchUp 2013 zgodnie z rzeczywistymi wymiarami, a następnie podstawiono za te oferowane przez program. Ustalono także kształt produkowanego wyrobu.

Gdy wizualnie linia spełniła wszystkie kryteria, zajęto się danymi technicznymi oraz połączeniami. Te dwa czynniki determinują realny przepływ na linii produkcyjnej w programie. W każdym urządzeniu i przenośniku ustawiono parametry zmierzone w przedsiębiorstwie oraz te przeliczone na potrzeby symulacji. Dodano czasy przetwarzania maszyn, ich pojemności, transportu produktów przez przenośniki.

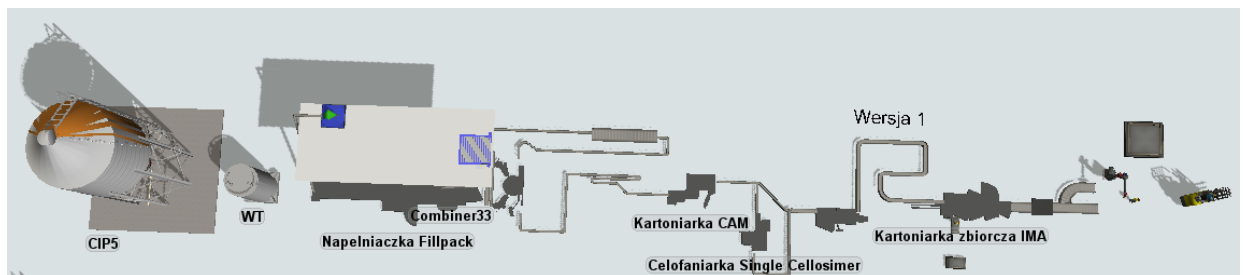
Ważnym krokiem było uzupełnienie wartości dotyczących awarii maszyn, czyli MTBF oraz MTTR. Do ich obliczenia użyto narzędzia ExpertFit, dostępnego w pełnej wersji programu FlexSim. ExpertFit wybierał najkorzystniejszy rozkład dla każdej maszyny i podawał parametry, które wprowadzono bezpośrednio do okien modyfikacji MTTR i MTBF. W celu implementacji danych do programu Expertfit, pierwszym krokiem było pozyskanie danych o mikroprzestojach i przestojach z systemu komputerowego Master Data Collection, skorelowanie ich z danymi pochodzącymi ze sterowników znajdujących się w maszynach i wprowadzeniem do arkusza programu MS Excel.

Analizę danych rozpoczęto od ich posortowania i podzielenia na awarie i mikroawarie oraz obliczenia międzyczasów. Na podstawie tych danych narzędzie generowało najbardziej zbliżony rozkład statystyczny (statistical distribution) dla awarii każdej maszyny. Rozkłady wprowadzono bezpośrednio do okien modyfikacji MTTR i MTBF. W przypadku gdy wyliczony rozkład był niedokładny, ExpertFit sugerował zastosowanie rozkładu

empirycznego. Wygenerowane dane należało wprowadzić do symulacji za pomocą tabel globalnych (Global Tables), które połączone z daną maszyną generowały przestoje.

Innym ważnym czynnikiem, było odwzorowanie ruchu produktu na linii produkcyjnej. Znajdujący się na niej bufor zapełniał się w charakterystyczny sposób. Napływające produkty kolejkowały się na nim. W programie FlexSim taki bufor nie jest zaprojektowany, dlatego należało zaprogramować go w języku C++ na przenośniku. Dodatkowo, aby poszerzyć perspektywę, dodano zbiornik WT, czyli przewoźny pojemnik wielokrotnego użytku, myty i dezynfekowany w myjni, która znajduje się w fabryce. Podstawiany jest do linii przy pomocy akumulatorowego wózka widłowego przez pracownika linii, podłączany do napełniaczki zgodnie z planem produkcji.

Poprzez wstawienie silosów nakreślono również systemy CIP zapewniające szybkie, skuteczne i pewne czyszczenie wszystkich typów urządzeń używanych w przemyśle produkcyjnym. Jest to metoda, w wyniku której obiekt lub rurociąg zostaje całkowicie oczyszczony bez potrzeby ich rozmontowywania. Czyszczenie CIP przebiega szybko i dokładnie [6], Wszystkie powyżej wymienione czynności i elementy stworzyły rzeczywisty model linii produkcyjnej przedsiębiorstwa.



**Rys. 13.** Model stanu faktycznego.

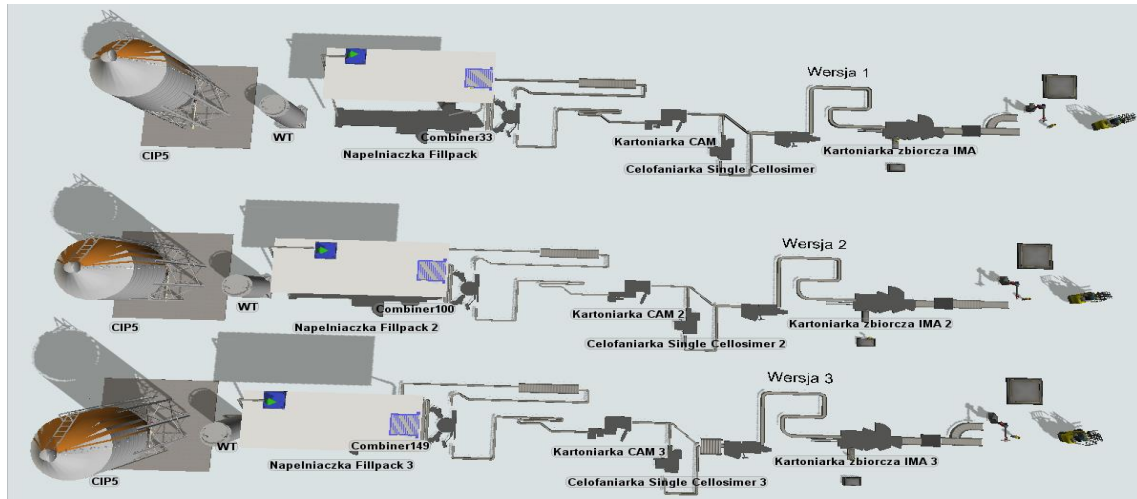
*Źródło: Opracowanie własne.*

## 5.2. SYMULACJA ROZWIĄZAŃ

W wyniku analizy i obserwacji stworzono trzy wersje linii – rzeczywistą, linię z buforem przed paletyzatorem oraz linię z buforem przed urządzeniem zgrzewającym pakiety w folię PE.

W pierwszej propozycji ustawiono bufor w miejscu zgodnym z zaleceniami pracowników firmy, czyli przed paletyzatorem. Rozwiązanie to nie przyniosło jednak rezultatów, ponieważ okazało się, że to paletyzator czeka na napływający do niego towar, a nie na odwrót. Nie jest on przyczyną zapychania się linii, więc bufor nie przynosi żadnych korzyści. Po przeprowadzeniu szeregu obserwacji w przedsiębiorstwie zauważono,

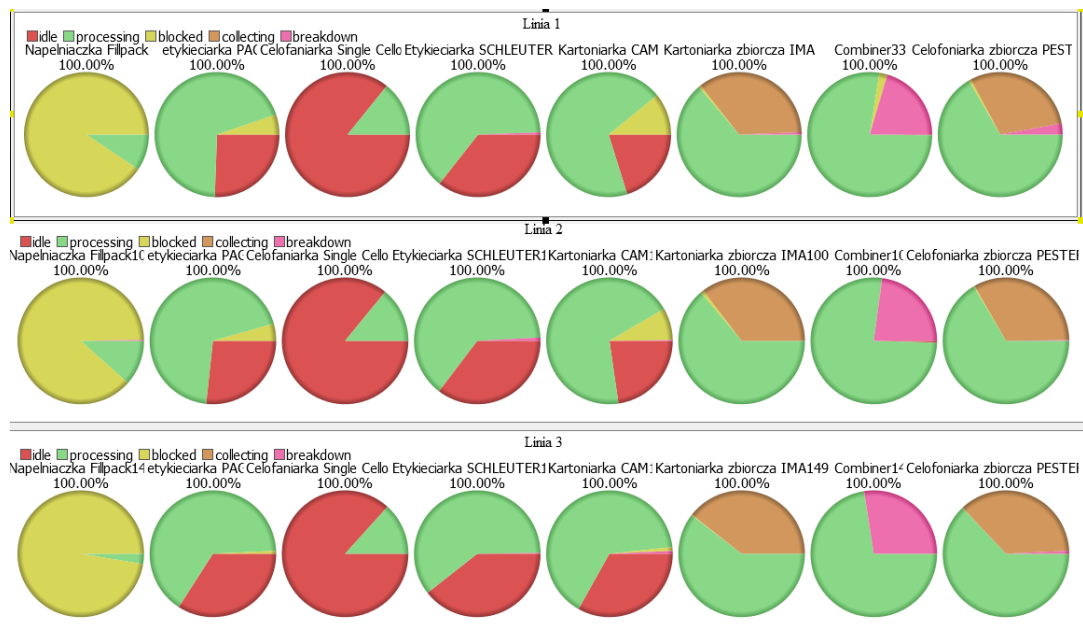
że towar zaczyna kolejkować się przed urządzeniem zgrzewającym pakiety w folię PE. Uznano, że będzie to idealne miejsce na utworzenie buforu i postanowiono stworzyć drugie, alternatywne rozwiązanie. Symulacja potwierdziła, że rozwiązanie to jest najkorzystniejsze dla płynności produkcji- linia nie zapycha się i maszyny blokują się w mniejszym stopniu.



Rys. 14. Modele linii produkcyjnej.

Źródło: Opracowanie własne.

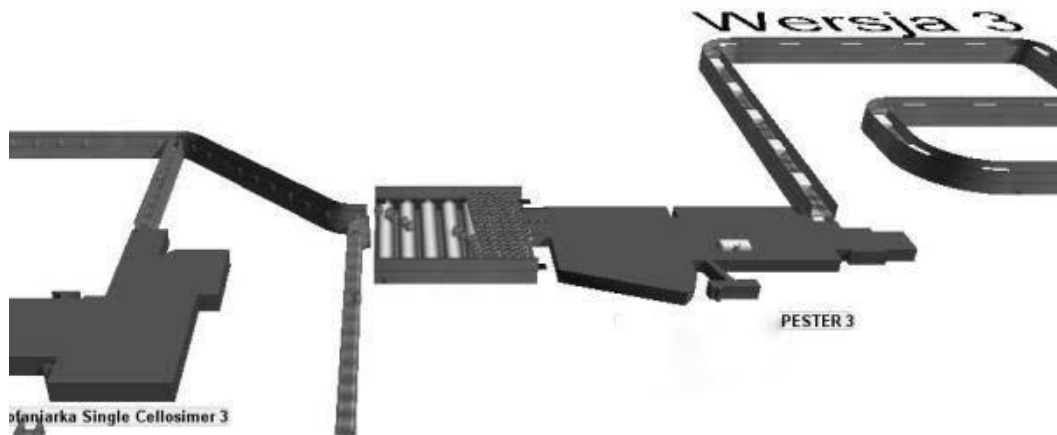
Poniżej przedstawiono wykresy obrazujące udział poszczególnych stanów pracy dla wszystkich maszyn i wszystkich trzech linii podczas jednej z przeprowadzonych na modelu symulacji.



Rys. 15. Wykresy stanu pracy maszyn.

Źródło: Opracowanie własne.

Na wykresach zaobserwować można, że bufor postawiony za kartoniarką przyczynił się do zmniejszenia poziomu jej zablokowania.



**Rys. 16.** Model bufora.  
Źródło: Opracowanie własne.

### 5.3. EKSPERYMENTATOR

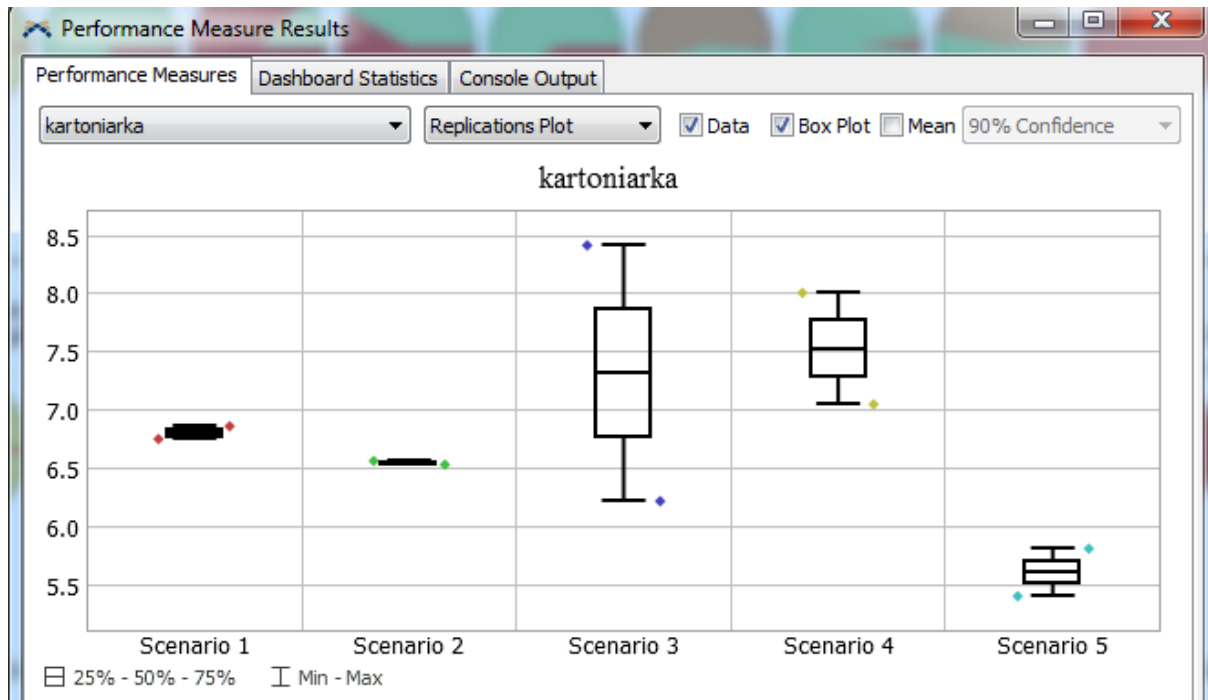
W kolejnym kroku sprawdzono optymalną pojemność bufora znajdującego się na trzeciej linii. Dokonano tego przy pomocy eksperymentatora, który przeprowadza symulację w tych samych warunkach dla każdego scenariusza. W tym przypadku przyjęto, iż produkcja dopiero rusza- linia jest pusta, a eksperyment obejmować będzie czas 57600 sekund, czyli dwie pełne 8-godzinne zmiany robocze. Jako zmienną wybrano maksymalną pojemność bufora. Biorąc pod uwagę, że podczas biegu symulacji wypełnienie bufora było bardzo zróżnicowane, przyjęto aż 5 scenariuszy:

Simulation Experiment Control							
Scenarios		Performance Measures	Experiment Run	Optimizer Design	Optimizer Run	Optimizer Results	Advanced
Variables		Scenarios		Choose default reset scenario: None			
Variable 3	/Conveyor172>variables/maxcontent	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	
		100	150	200	250	300	

**Rys. 17.** Eksperymentator.  
Źródło: Opracowanie własne.

Podczas eksperymentu powtórzono dwie próby. Jako wyniki brano po uwagę następujące parametry:

- Procentowy udział zablokowania kartoniarki (maszyny poprzedzającej bufor) w czasie przebiegu symulacji.

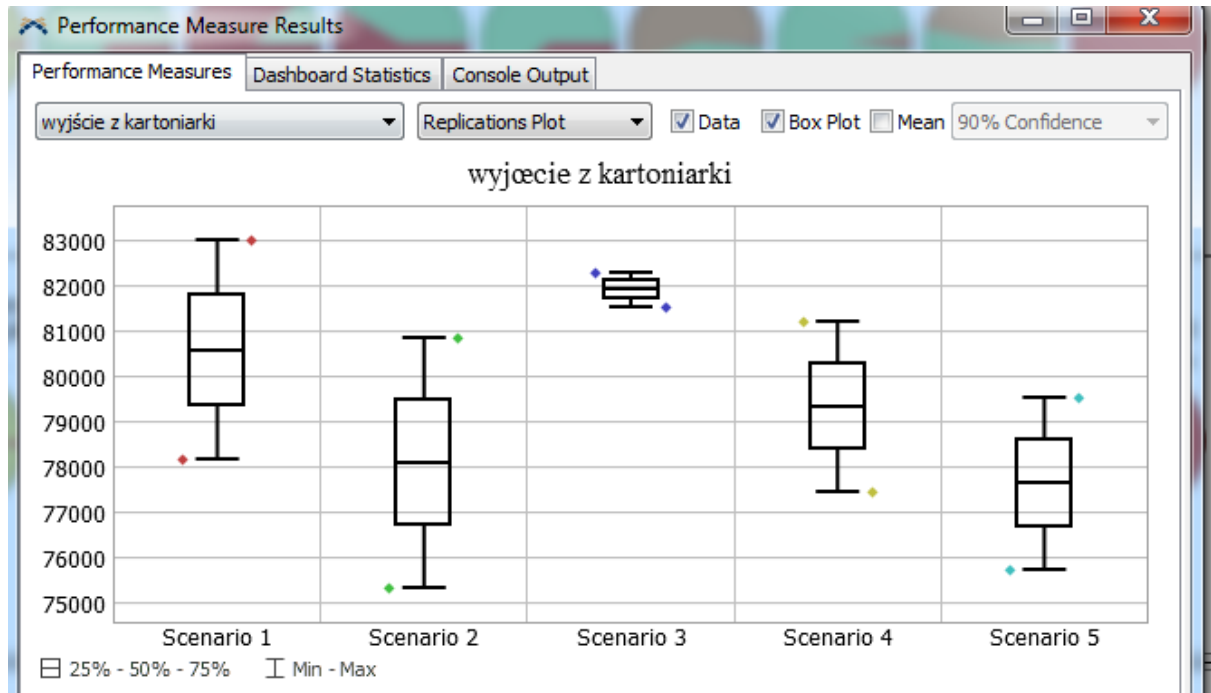


**Rys.18.** Udział zablokowania kartoniarki- wykres.  
*Źródło: Opracowanie własne.*

	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
<b>Scenario 1</b>	6.437	< 6.802	< 7.167	0.082	6.744	6.860
<b>Scenario 2</b>	6.434	< 6.545	< 6.657	0.025	6.528	6.563
<b>Scenario 3</b>	0.367	< 7.311	< 14.255	1.555	6.212	8.411
<b>Scenario 4</b>	4.495	< 7.523	< 10.552	0.678	7.043	8.003
<b>Scenario 5</b>	4.334	< 5.606	< 6.877	0.285	5.404	5.807

**Rys. 19.** Udział zablokowania kartoniarki- dane liczbowe.  
*Źródło: Opracowanie własne.*

- Ilość sztuk, które wyszły z kartoniarki poprzedzającej bufor.



Rys. 20. Liczba sztuk przechodzących przez proces (kartoniarka)- wykres.  
Źródło: Opracowanie własne.

Performance Measure Results

Performance Measures: wyjście z kartoniarki

Dashboard Statistics: Data Summary

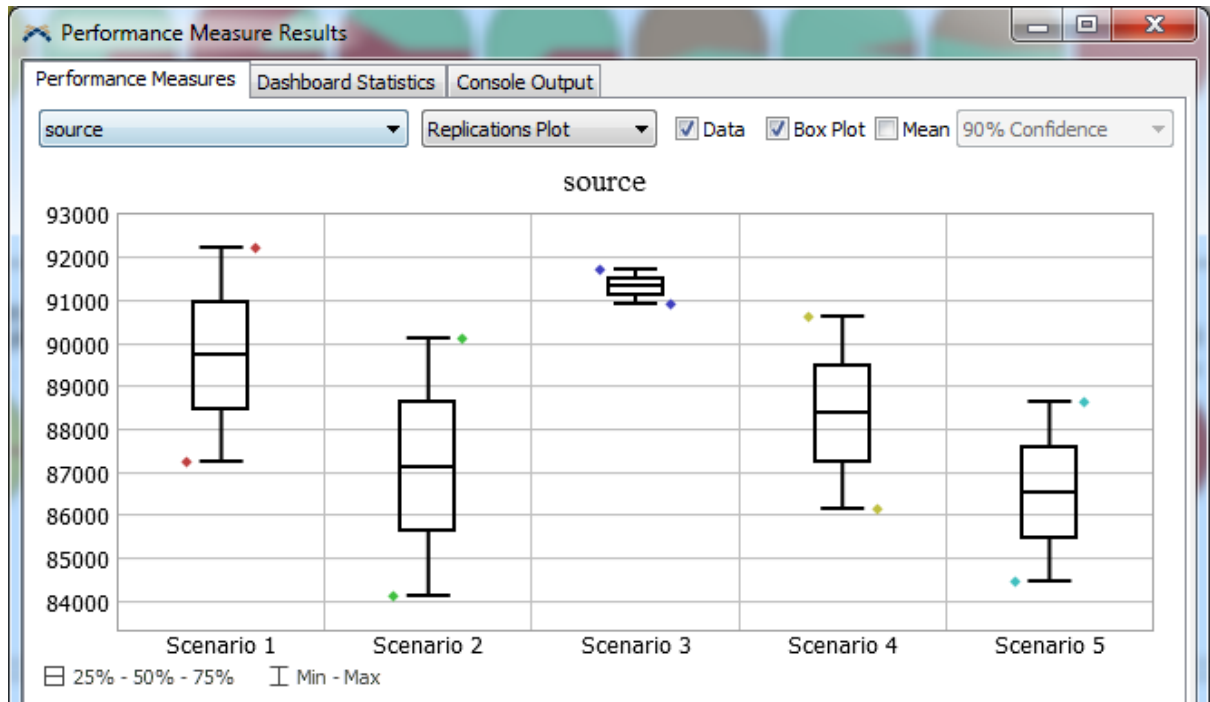
Console Output: Mean Based on 90% Confidence

wyjście z kartoniarki

	Mean (90% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max
<b>Scenario 1</b>	65214 < 80563 < 95912	3438	78132	82994
<b>Scenario 2</b>	60599 < 78082 < 95565	3916	75313	80851
<b>Scenario 3</b>	79490 < 81912 < 84333	542	81528	82295
<b>Scenario 4</b>	67405 < 79326 < 91247	2670	77438	81214
<b>Scenario 5</b>	65596 < 77622 < 89647	2693	75717	79526

Rys.21. Liczba sztuk przechodzących przez proces (kartoniarka)- dane liczbowe.  
Źródło: Opracowanie własne.

- Ilość sztuk, które wjechały na linię.



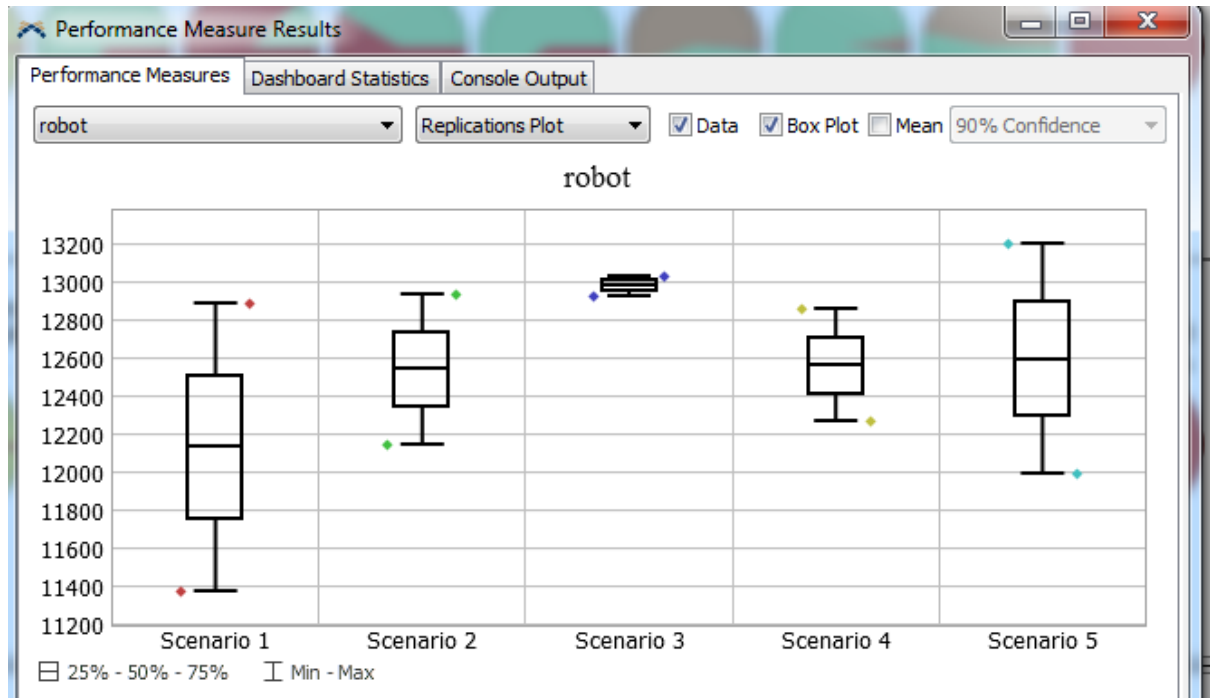
Rys. 22. Ilość sztuk poddanych procesowi- wykres.  
 Źródło: Opracowanie własne.

The figure is a data summary table titled 'source' showing the mean, sample standard deviation, and minimum and maximum values for five scenarios. The table is displayed in a software interface with a 'Data Summary' dropdown menu. The data is as follows:

source	Mean (90% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max
Scenario 1	73997 < 89719 < 105441	3521	87229	92209
Scenario 2	68190 < 87123 < 106055	4241	84124	90121
Scenario 3	88861 < 91314 < 93766	549	90925	91702
Scenario 4	74289 < 88367 < 102444	3153	86137	90596
Scenario 5	73330 < 86524 < 99717	2955	84434	88613

Rys. 23. Ilość sztuk poddanych procesowi - dane liczbowe.  
 Źródło: Opracowanie własne.

- Ilość kartonów zbiorczych, które opuściły linię.



**Rys. 24.** Ilość wyprodukowanych sztuk wyrobu- wykres.  
Źródło: Opracowanie własne.

The figure is a screenshot of a software window titled 'Performance Measure Results'. It shows a 'Data Summary' for the 'robot' performance measure. The table below provides numerical data for Mean (90% Confidence), Sample Std Dev, Min, and Max for each scenario.

	Mean (90% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max
<b>Scenario 1</b>	7347 < 12130 < 16912	1071	11372	12887
<b>Scenario 2</b>	10055 < 12540 < 15024	556	12146	12933
<b>Scenario 3</b>	12650 < 12982 < 13313	74	12929	13034
<b>Scenario 4</b>	10697 < 12563 < 14428	418	12267	12858
<b>Scenario 5</b>	8775 < 12595 < 16415	856	11990	13200

**Rys. 25.** Ilość wyprodukowanych sztuk wyrobu - dane liczbowe.  
Źródło: Opracowanie własne.

Z wyników eksperymentatora można wywnioskować, że dla trzech spośród czterech parametrów branych pod uwagę najlepszy okazał się scenariusz 3. Tylko ze względu na procentowy udział zablokowania kartoniarki korzystniejszy wydaje się scenariusz 5. Na podstawie wyników stwierdzono więc, że dla bufora znajdującego się przed urządzeniem



zgrzewającym pakiety w folię PE optymalny jest wariant trzeci, czyli bufor o pojemności 200 sztuk, jest najbardziej opłacalny.

## 6. WYNIKI SYMULACJI

Wprowadzenie bufora przed urządzeniem zgrzewającym pakiety w folię PE przyniosłoby wiele korzyści. Usprawniłby on pracę całej linii produkcyjnej i dzięki niemu maszyny zwiększyłyby swoją wydajność. W rzeczywistości, przez brak bufora, część maszyn jest zablokowana i natłok produkowanych towarów powoduje, że stoją i są przez pewien czas bezużyteczne. Zastosowanie symulacji w programie FlexSim 2016 umożliwiło dokładne zobrazowanie problemu, wprowadzenie różnych wariantów rozwiązania bez konieczności testowania tego w rzeczywistych warunkach oraz wiążącym się z tym ponoszeniem kosztów. Jedynym ograniczeniem jakie zauważono, a które mogłoby wpłynąć na możliwość wprowadzenia bufora w rzeczywistości, jest dostępne między maszynami miejsce. Biorąc jednak pod uwagę niewielkie wymiary bufora (niespełna 1 m<sup>2</sup>), umieszczenie go przed urządzeniem zgrzewającym pakiety w folię PE zbiorczą nie stanowiłoby pod względem przestrzennym znaczącego problemu.

Ze względu na brak danych niezbędnych do przeprowadzenia analizy kosztowej, niemożliwym było dokonanie odpowiednich obliczeń. Jednakże koszt wprowadzenia buforów w stosunku do korzyści, jakie przynoszą, wydaje się być bardzo niski, bowiem zwiększają one efektywność całej linii produkcyjnej, co przekłada się na większe zyski przedsiębiorstwa.

## 7. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzania symulacji płynie wiele zalet. Najważniejszymi z nich są realistyczne założenia. Można otrzymać dokładne rozwiązanie przybliżonego modelu, a po odzwierciedleniu zjawiska jest możliwe przeprowadzanie eksperymentów, wprowadzanie swoich pomysłów i wybór najlepszego z otrzymanych rezultatów. Ponadto stosowanie programów symulacyjnych jest względnie łatwe w użyciu.

Kolejnym z atutów, przemawiających za stosowaniem symulacji, jest możliwość kompresji bądź wydłużania badanego okresu. Dzięki takiemu rozwiązaniu można w dużo krótszym czasie zobaczyć efekty wprowadzonych zmian czy usprawnień, a także sprawdzić co się stanie po czasie dłuższym, niż by przewidywano na obserwacje w rzeczywistym systemie.

Przeprowadzanie eksperymentów generuje dużo mniejsze koszty niż wprowadzenie danego rozwiązania i sprawdzenie jego celowości. W zależności od potrzeb, eksperyment można powtarzać w tych samych warunkach. Kolejną zaletą to bezproblemowe przechowywanie i porównywanie wyników eksperymentów. Ponadto można w łatwy sposób wprowadzać różnego rodzaju wymuszenia i zakłócenia, w szczególności losowe, oraz badać stany ekstremalne. Oprogramowanie symulacyjne pozwala także na zmiany w modelu systemu. Można w prosty sposób uzupełniać model o nowe procesy czy obiekty.

Ostatnią z przytoczonych w referacie zalet jest wiarygodność wyników. Symulacje komputerowe wspomagają świadome podejmowanie decyzji. Każdy z dopuszczalnych wariantów można dokładnie przeanalizować. Dzięki temu na podstawie wnikliwej animacji, sprawozdawczości statystycznej oraz analizy scenariuszowej wybierane jest rozwiązanie o minimalnym stopniu ryzyka [7]. Opisany w referacie przykład wykorzystania oprogramowania symulacyjnego do rozwiązania realnego problemu potwierdza wszystkie wyżej wymienione zalety. Potencjał symulacji jest często niedoceniany, a powinien stanowić integralną część optymalizacji zachodzących w przedsiębiorstwie procesów i wdrażania nowych koncepcji.

#### LITERATURA

- [1] Antosz K., Stadnicka D., Mierniki oceny efektywności funkcjonowania maszyn w dużych przedsiębiorstwach: wyniki badań[online]  
dostęp: 20.10.2016
- [2] Encyklopedia PWN, T.6. S-Z, Warszawa, PWN, 1998. Symulacja komputerowa, s.143.
- [3] <http://flexsim.pl/flexsim/> [online] dostęp: 22.10.2016
- [4] <http://kates.com.pl/pl/page/stacje-mycia-cip-cop> [online] dostęp: 24.10.2016
- [5] <http://www.ein.org.pl/sites/default/files/2015-01-15p.pdf>
- [6] Pawlewki P., Obiektowy schemat przepływu [online]  
<http://www.socilapp.put.poznan.pl/> dostęp 26.10.2016
- [7] Ustawa z dnia 18 kwietnia 2002 r. o stanie kłęski żywiółowej, Dz.U.2002.62.558

---

**SIMULATION AS A TOOL USED TO IMPROVE PRODUCTION FLOW ON  
EXAMPLE OF THE ANALYSED COMPANY - CASE STUDY**

**Key words:** computer simulation, optimization, logistics process,

**ABSTRACT**

Optimizing processes in the company, especially in factories, is an important part of corporate strategy. With help of a special software, simulation allows to check the usefulness and cost-effectiveness of suggested solutions. Undeniable advantage is low cost of verification. Simulation is invaluable opportunity which was decided to present in article based on a real example.