

Jerzy FELIKS<sup>1</sup>, Rafał RUMIN<sup>1</sup>, Grzegorz PAWŁOWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

<sup>2</sup>HandCraft Polska Sp. z o.o

## **MODELOWANIE I ANALIZA PROCESÓW NA PRZYKŁADZIE PRODUKCJI MEBLI KASTOMIZOWANYCH W FIRMIE HANDCRAFT POLSKA SP. Z O.O – STUDIUM PRZYPADKU**

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki prac zastosowania dwóch różnych pakietów symulacyjnych takich jak FlexSim oraz ARIS do modelowania, symulacji oraz analiz wyników. W pakiecie FlexSim zbudowano model procesu produkcyjnego mebli na zamówienie, a zastosowaniem oprogramowania ARIS zbudowano modele procesów biznesowych towarzyszących procesowi produkcyjnemu. Z wykorzystaniem programów przeprowadzono badania symulacyjne mające na celu ocenę wydajności procesów.

## **MODELING AND ANALYSIS OF PROCESSES ON THE EXAMPLE OF THE PRODUCTION OF CUSTOM FURNITURE**

**Summary.** The article presents the results of the use of two different simulation packages such as FlexSim and ARIS for modeling, simulation and analysis of research results. A model of the production process of custom-made furniture was built in the FlexSim package, and models of business processes accompanying the production process were built using ARIS software. Simulation tests were carried out using programs to assess the efficiency of the processes.

### **1. Wstęp**

Modelowanie i symulacja procesów i systemów to stale rozwijający się obszar wiedzy, który na podstawie analizy wyników badań symulacyjnych pozwala na podejmowanie lepszych decyzji. W obecnych czasach dostępnych jest wiele narzędzi pozwalających na symulacyjne badanie własności modeli różnego typu. Dominuje wśród nich symulacja komputerowa w której wykorzystuje się specjalistyczne oprogramowanie przeznaczone do budowy jak i badań symulacyjnych modeli obiektów, procesów czy też systemów. Symulacja pozwala za pomocą eksperymentów przeprowadzonych na badanym modelu dokonać analiz wyników badań oraz wybrać rozwiązania akceptowalne z punktu widzenia użytkownika czy też decydenta. Symulacja dostarcza ponadto odpowiedzi na pytania typu „co, jeśli...?”. [4]. Celem niniejszego opracowania było określenie efektów proponowanych rozwiązań w zakresie organizacji systemu produkcji mebli oraz towarzyszącym im procesom zamawiania i ich wpływu na zdolność projektowanego systemu do realizacji zleceń.

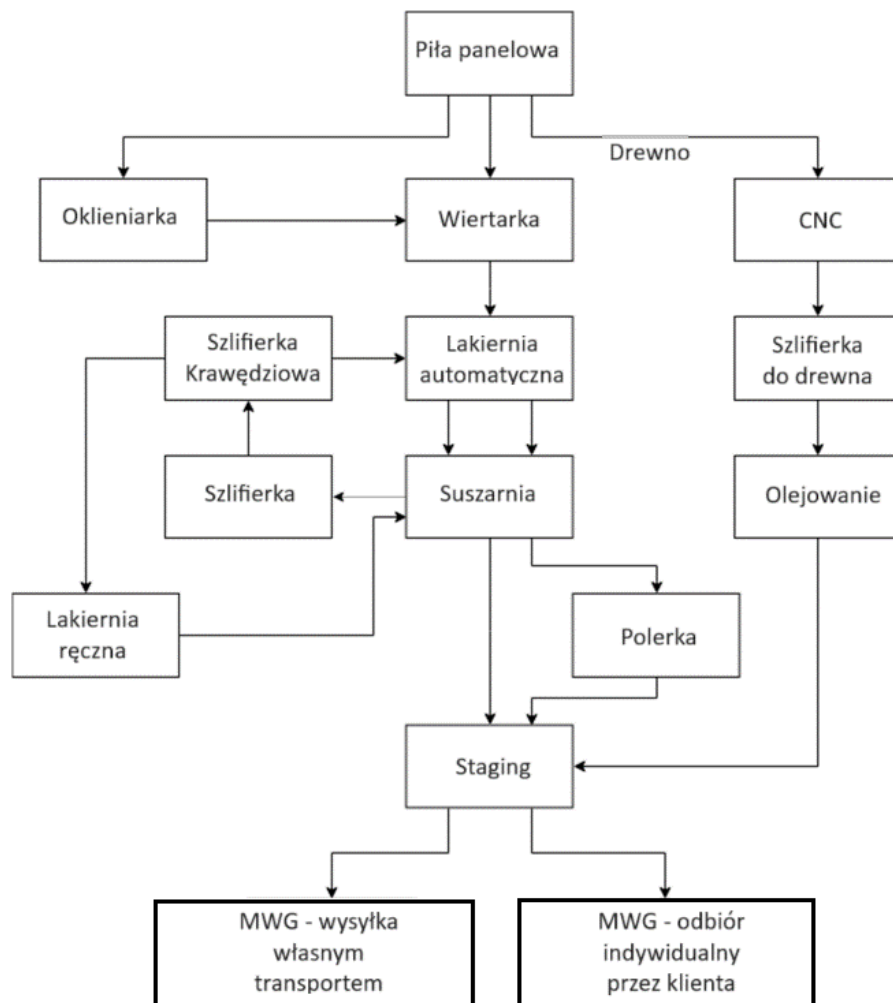
Zakres badań obejmował:

- opracowanie koncepcji systemu produkcji masowej mebli kastomizowanych,
- eksperymenty symulacyjne mające na celu identyfikację przepływów materiałów i informacji w przedsiębiorstwie,
- analizę scenariuszową wpływu wolumenu produkcji na obciążenie maszyn i efektywność systemu informacyjnego.

## 2. Modelowanie i analiza systemów wytwórczych z wykorzystaniem FlexSim

FlexSim 3D Simulation Software to pakiet symulacyjny umożliwiający modelowanie, symulację oraz optymalizację złożonych procesów. Najczęściej wspieranymi przez to oprogramowanie obszarami działalności przedsiębiorstw są produkcja, logistyka oraz usługi. Narzędzie to, dzięki technologii OpenGL wykorzystywanej głównie przez producentów gier komputerowych, umożliwia budowę modelu trójwymiarowego oraz realistyczną wizualizację procesów [6].

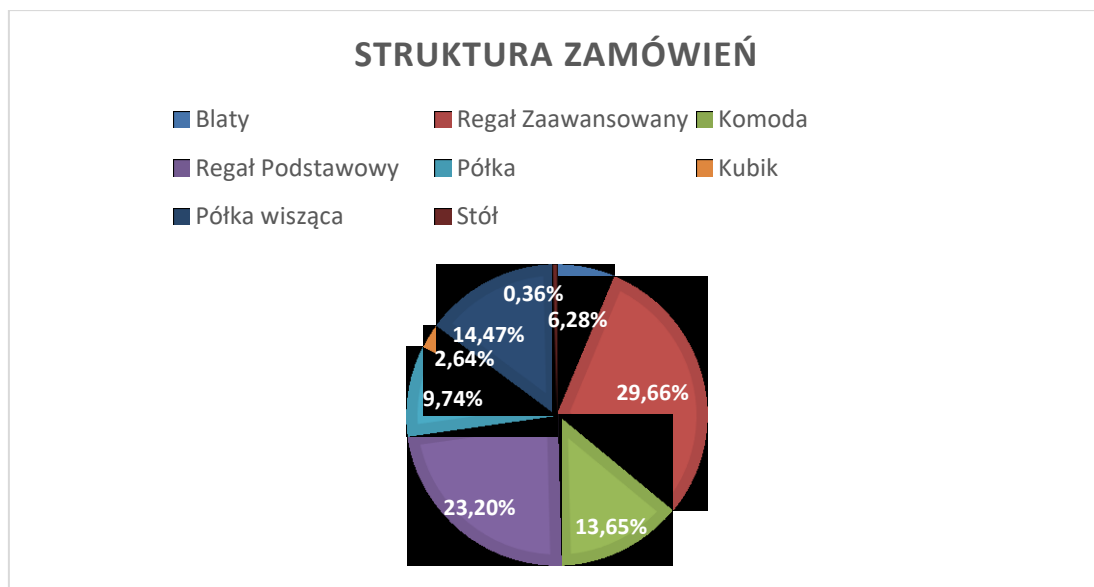
Możliwości obliczeniowe jakie daje oprogramowanie FlexSim powodują, iż świetnie nadaje się ono do prowadzenia prac badawczo-rozwojowych. Rozbudowana warstwa numeryczna pozwala uzyskiwać niejednokrotnie zaskakujące rezultaty zarówno poprzez analizę wybranych scenariuszy, jak i pełny przegląd przestrzeni możliwych rozwiązań. Moduł pakietu FlexSim - Eksperimenter pozwala powtórzyć eksperyment symulacyjny zadaną liczbę razy ustalaną indywidualnie w zależności od złożoności problemu oraz stopnia zmienności poszczególnych parametrów go opisujących. Moduł ExpertFit® umożliwia odwzorowanie naturalnej zmienności modelowanych procesów poprzez dopasowanie odpowiednich rozkładów teoretycznych do danych empirycznych. Analizę wyników przeprowadzonych eksperymentów symulacyjnych ułatwiają ponadto dodawane do modelu wybrane wykresy i statystyki generowane w czasie rzeczywistym [6]. Z wykorzystaniem oprogramowania FlexSim zbudowano model odwzorowujący system produkcyjny w wybranej do analizy fabryce mebli. Schemat procesu produkcyjnego przedstawiono na rysunku 1. Proces produkcyjny mebli rozpoczyna się od przygotowania płyt MDF wyciętych do odpowiednich rozmiarów lub przycięcia materiału z drewna. Piła panelowa przy wykorzystaniu automatycznego podajnika zabiera płytę odpowiedniego rodzaju ze stosu i realizuje jej rozkrój. Niewykorzystane fragmenty płyty wracają na miejsce odkładcze, natomiast pozostałe elementy przeważnie są oklejane na okleiniarce. W modelu bazowym założono jedno urządzenie z powrotem po oklejeniu kolejnych boków. Wiertarka realizuje procesy dla wszystkich rodzajów płyt za wyjątkiem drewna, które są realizowane na centrum CNC, gdyż w maszynie CNC realizowane są procesy związane z obróbką elementów drewnianych – nawiercanie oraz realizowanie fazki. Wierząc otwory przy użyciu wiertarki operator wkłada formatki pojedynczo – istnieje możliwość wystąpienia w sytuacji, w której operator musi jedną formatkę dwukrotnie umieszczać w wiertarce ze względu na lokalizację otworów w każdej z krawędzi formatki. Elementy, które wymagają lakierowania są transportowane do lakierni. Nakładanie lakieru podkładowego oraz lakierowanie na biało są realizowane na lakierni automatycznej, wszystkie inne kolory są realizowane na lakierni ręcznej.



Rys. 1. Schemat procesu produkcyjnego. Źródło:[6]

Po etapie szlifowania lakieru podkładowego i/lub szlifowania krawędzi następuje ponowne lakierowanie elementów na właściwy kolor z tym, że elementy lakierowane na kolor biały kierowane są do lakierni automatycznej, pozostałe do lakierni ręcznej. W przypadku realizacji lakierowania na połysk formatki muszą zostać jeszcze wypolerowane na polerce. Przed polerowaniem wymaga się, aby lakier odpowiednio stwardniał – czas utwardzania wynosi 24 godziny, czas schnięcia lakieru określono na 8 godzin. Ukończone formatki są transportowane na obszar staggingu gdzie następuje kompletacja zamówień.

Na potrzeby budowy modelu symulacyjnego oraz ustalenia jego parametrów zebrano dane dotyczące czasów poszczególnych operacji na maszynach, czasów potrzebnych przestojów wynikających ze względów technologicznych oraz rozpoznano strukturę zamówień. Na podstawie przeanalizowanych zamówień stwierdzono, że przedsiębiorstwo realizuje zamówienia z drewna i płyt MDF/HDF w takiej samej proporcji. Dziennie wycinanych jest około 88 formatek o łącznej powierzchni 20 m<sup>2</sup>, z czego 79 m podlega dodatkowo oklejaniu. Na okleiniarkę trafiają płyty MDF. Strukturę zamówień w tym udziały poszczególnych rodzajów wyrobów przedstawiono na rysunku 2. Model poddano walidacji i weryfikacji wykorzystując do tego celu zebrane dane historyczne. Następnie przystąpiono do realizacji badań symulacyjnych wedle wcześniej opracowanych scenariuszy.



Rys. 2. Struktura zamówień odwzorowana w programie symulacyjnym. Źródło: [6]

Badania symulacyjne przeprowadzono dla 180 dni pracy modelu wprowadzając do programu symulacji 5 różnych scenariuszy dotyczących zmiany zapotrzebowania na wyroby. Impulsem do przeprowadzenia tego typu badań były plany wdrożenia internetowej platformy umożliwiającej klientom samodzielne konfigurowanie zestawów mebli jak i ich bezpośrednie zamawianie z wykorzystaniem strony internetowej. Spodziewanym efektem wdrożenia platformy był wzrost zamówień realizowanych samodzielnie przez klientów. Przeprowadzono badania symulacyjne przy założeniu wzrostu popytu z przyjętego poziomu podstawowego do pięciokrotnego wzrostu poziomu popytu z krokiem co jeden poziom, czyli dwukrotny, trzykrotny wzrost itd.). Na rysunku 3 przedstawiono przykładowy wykres zajętości okleiniarki w poszczególnych dniach pracy. Wykres przygotowano dla wariantu z podstawowym poziomem popytu na wyroby.



Rys. 3. Przykładowe wyniki symulacji dla okleiniarki. Źródło: [6]

Wyniki badań symulacyjnych dla procesu produkcyjnego zestawiono w tabeli 1. Analizując wyniki można zauważyć, iż w niektórych przypadkach większy wzrost

zapotrzebowania na produkty wymagałyby dodatkowych nakładów inwestycyjnych lub zmian w organizacji procesu produkcji, niemniej jednak wyniki badań symulacyjnych potwierdziły potencjał w obszarze zdolności produkcyjnych procesu przy zwiększonym popycie. W każdym ze scenariuszy założono, iż czas realizacji zamówienia nie powinien być przekroczony, dlatego przy hipotetycznym stopniu wykorzystania maszyn sięgającym powyżej 100% rekomenduje się prowadzenie procesów równoległe.

Tabela 1

## Scenariusze badań symulacyjnych

Maszyna	Aktualna produkcja	2 krotna produkcja	3 krotna produkcja	4 krotna produkcja	5 krotna produkcja
Pila panelowa	10%	19%	29%	38%	50%
Okleiniarka	19%	37%	56%	74%	93% Rekomendowany zakup kolejnej maszyny
Wiertarka	20%	42%	64%	86% Rekomendowany zakup kolejnej maszyny	104% Rekomendowany zakup kolejnej maszyny
CNC	23%	47%	69%	93% Rekomendowany zakup kolejnej maszyny/zmiana marszruty	114% Rekomendowany zakup kolejnej maszyny/zmiana marszruty
Lakiernia automatyczna	3%	7%	10%	13%	17%
Lakiernia ręczna	6%	14%	21%	28%	34%

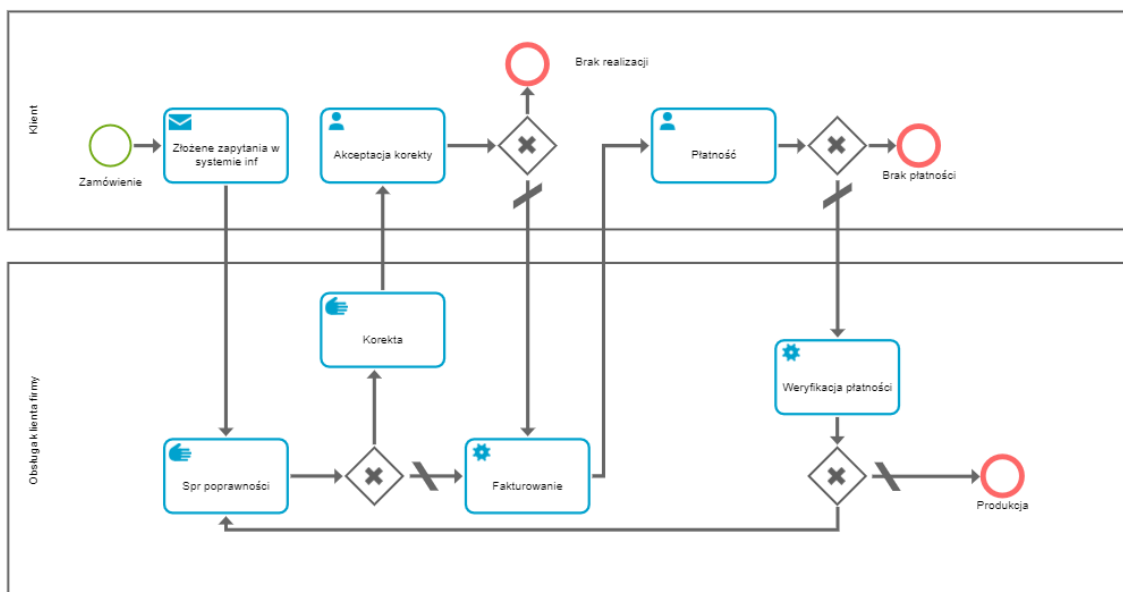
W ślad za przedstawionymi wynikami badań powstaje pytanie czy procesy biznesowe towarzyszące procesowi produkcji takie jak zamawianie, korekty zamówień, fakturowania i płatności są na tyle wydolne, aby sprostać zwiększonemu popytowi na wyroby. W celu odpowiedzi na wyżej postawione pytanie przeprowadzono badania symulacyjne procesów biznesowych wykorzystując mapę procesu zbudowaną w notacji BPMN oraz oprogramowania ARIS [1,3].

### 3. Modelowanie i symulacja procesów biznesowych

Business Process Model and Notation (BPMN) to standard modelowania procesów, który zapewnia graficzną notację do specyfikacji procesów biznesowych. Zestaw symboli BPMN obejmuje cztery typy elementów: obiekty przepływu (działania, zdarzenia, bramki), obiekty łączące (sekwencje i przepływy komunikatów, asocjacje), tory (baseny i tory) oraz artefakty (np. obiekty danych i adnotacje) [2,5].

Oprogramowania ARIS firmy Software AG stanowi pewien pakiet rozwiązań umożliwiający tworzenie różnych map procesów na różnych poziomach modelowania. Mapy mogą być tworzone z wykorzystaniem notacji EPC, BPMN, czy też wielu innych wbudowanych szablonów. W przykładowej realizacji procesów wykorzystano notację BPMN jako tę, która dobrze odzwierciedla realizację procesów biznesowych na poziomie operacyjnym. Jak wspomniano wcześniej dla potrzeb zwiększenia komfortu klientów w zakresie ich współpracy z wytwórcą wdrażano informatyczną platformę

umożliwiająca bezpośrednie zamawianie wybranych wyrobów firmy przy pomocy strony www. Tę formę współpracy odzwierciedlono na mapie procesów zamawiania, płatności i przekazania zamówienia do realizacji.

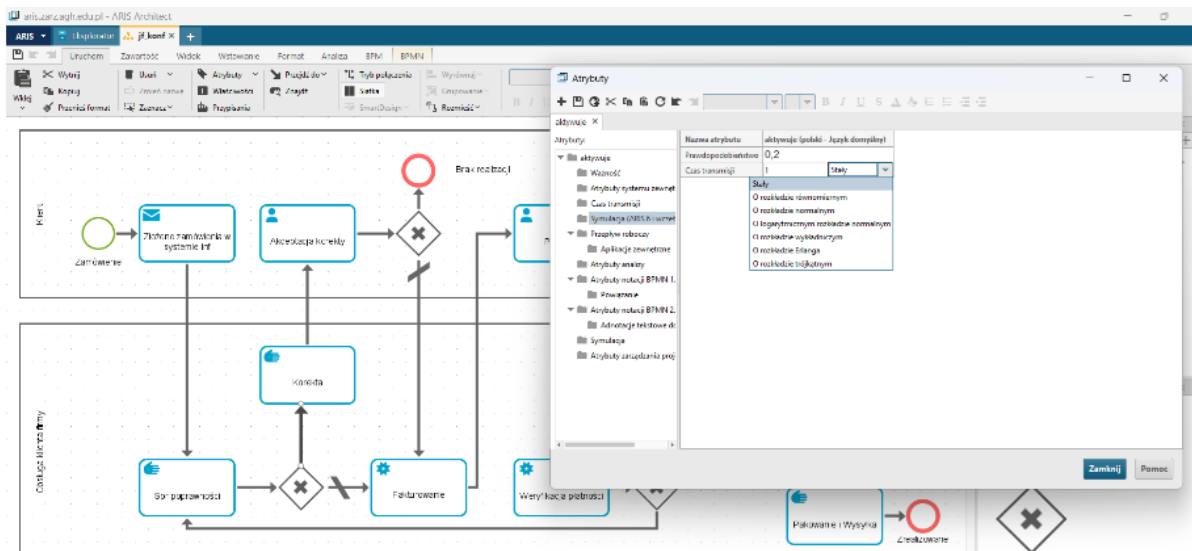


Rys. 4. Mapa procesu biznesowego. Opracowanie własne

Na rysunku 4 pokazano mapę procesu obsługi zamówienia zrealizowaną z wykorzystaniem oprogramowania ARIS. Wyszczególniono na niej główne etapy procesu zamówień mebli z wykorzystaniem platformy służącej między innymi do konfiguracji zamówienia tj. wyboru typu, wymiarów mebla jak i potrzebnych dodatków. Każdemu z etapów procesu nadano parametry – atrybuty związane z czasem realizacji etapu, czasem przetwarzania informacji, czasem oczekiwania na decyzję, czy też częstotliwością pojawienia się zdarzeń np. kolejne zamówienie. Wartości oszacowano na drodze badań i oceny ekspertowej, przyjmując dla czasów realizacji wszystkich operacji charakter losowy o rozkładzie jednostajnym ze zdefiniowaną indywidualną dla operacji wartością minimalną i maksymalną. Zdarzeniom wymagającym decyzji modelowanym przy pomocy bramek tj. etap procesu odpowiedzialny za konieczność korekty zamówienia, brak płatności czy brak realizacji zamówienia przypisano wartości prawdopodobieństw oszacowane na podstawie wywiadów. Dla przykładu przyjęto, że co dziesiąte zamówienie nie jest realizowane z powodu braku akceptacji zaproponowanej korekty. Oprogramowanie umożliwia wykorzystanie rozkładów o charakterze równomiernym, normalnym, wykładniczym, logarytmicznym, Erlanga czy też trójkątnym. Przykład konfiguracji parametrów rozkładu pokazano na rysunku 5.

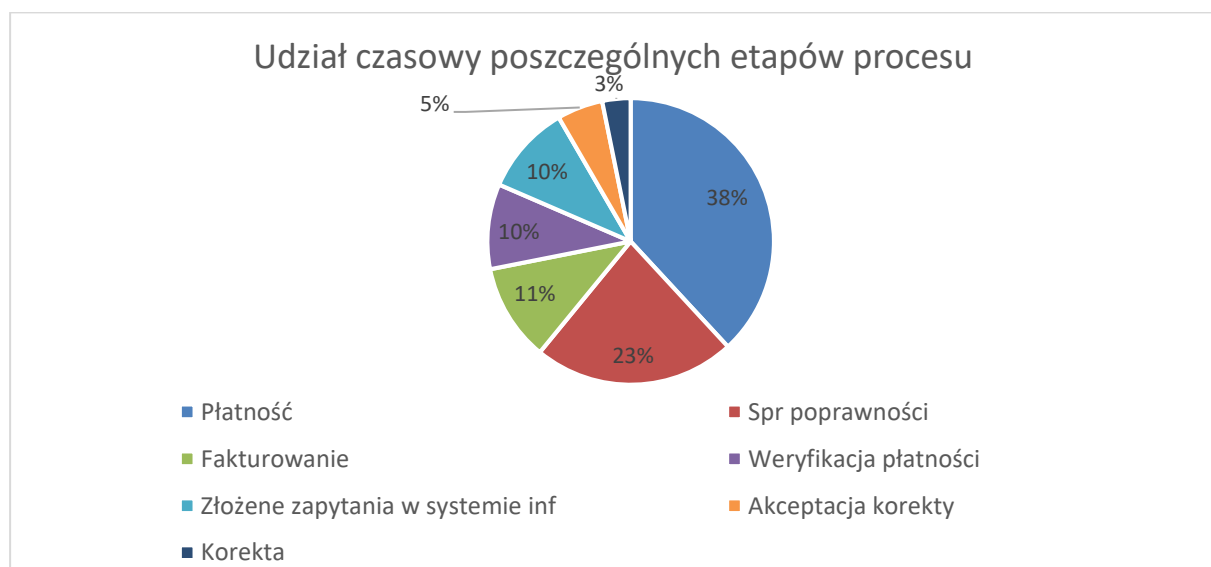
Oprogramowanie zezwala na konfigurację wielu parametrów obiektów, przepływów czy też bramek. Ich wprowadzenie pozwala na uzyskanie wyników symulacji w różnych wybranych obszarach takich jak zależności czasowe, stopnie zajętości obiektów czy też koszty realizacji procesów. Symulację przeprowadza się z wykorzystaniem modułu ARIS Architekt/Designer. Przy jego pomocy możemy dokonać walidacji poprawności budowy modelu procesu pod względem zgodności z wymaganiami notacji BPMN. Parametry symulacji, w tym czas jej trwania, wybierane są z pozycji kalendarza lub wpisywane w odpowiednie okna edycyjne umożliwiające swobodną ich konfigurację. Istnieje możliwość prowadzenia jednokrotnych badań

symulacyjnych z wizualizacją stanów poszczególnych obiektów i przepływów. Oprogramowanie pozwala także na realizację eksperymentu symulacyjnego powtarzanego wielokrotnie z zadaną wariacją poszczególnych wybranych parametrów procesu.



Rys. 5. Parametry procesu modelowane rozkładem prawdopodobieństwa.  
Opracowanie własne

Własności te wykorzystano przeprowadzając badania symulacyjne procesu zamawiania. Przykładowe zestawienie udziałów czasowych poszczególnych etapów procesu pokazano na rysunku 6, rekomendacje i zalecenia wynikające z badań przedstawiono we wnioskach.



Rys. 6. Udział czasowy poszczególnych etapów procesu. Opracowanie własne



#### 4. Wnioski

Wyniki badań symulacyjnych w zakresie realizacji procesu produkcyjnego pokazały potencjał procesu produkcji umożliwiający jego realizację nawet przy trzykrotnym szacowanym wzroście popytu na produkty. W przypadku zwiększania popytu wąskim gardłem okazały się procesy związane z oklejaniem mebli, dostępnością maszyny CNC oraz wiertarki. Racjonalność zakupu kolejnych urządzeń wymaga dodatkowych analiz kosztów zakupu oraz kosztów lokalowych. W ślad za realizacją procesów produkcyjnych powinny nadążać procesy związane z obsługą klienta na etapie zamawiania produktów. Wyniki badań symulacyjnych tych procesów uzmysłowiły konieczność ich reorganizacji. Wąskimi gardłami okazały się procesy związane z korektą zamówień klientów oraz realizacją płatności za zamówienia. W przypadku tych drugich rekomendowane jest promowanie płatności typu online skracające cykl i czas realizacji i potwierdzania płatności. W przypadku konieczności sprawdzania i dokonywania korekt zamówień zdecydowano się na ograniczenie w kreatorze konfiguracji mebli, wykorzystywanym przez klienta (dostępnego na stronie www), asortymentu do mniej złożonych, standaryzowanych konstrukcji możliwych do zamówienia w trybie online. Proces zamawiania mebli przez stronę internetową wyposażono także w mechanizmy podpowiadające i korygujące niewłaściwe wpisane parametry/wymiary przez użytkownika. Kolejne etapy zamawiania produktu kończą się podsumowaniem i wizualizacją produktu wraz z naniesionymi na rysunek wymiarami oraz podsumowaniem dotyczącym kosztów zakupu i transportu zaprojektowanego przez użytkownika towaru. Bardziej złożone konstrukcje realizowane są w drodze indywidualnego kontaktu z klientem.

*Praca realizowana w ramach projektu: Innowacyjna technologia masowej produkcji mebli kastomizowanych HandCraft Polska Sp. z o.o. INNKAS, POIR.01.02.00-0097/17*

#### LITERATURA

1. ARIS Architect Quick Start Guide version 9.7, Software AG, <https://ariscommunity.com/system/files/>, maj 2024.
2. Bukowski L.: Zapewnienie ciągłości dostaw w zmiennym i niepewnym otoczeniu. WSB Dąbrowa Górnicza, 2016.
3. Chomiak-Orsa I., Kołtonowska A.: Modelowanie procesów biznesowych z wykorzystaniem sieci Petriego i BPMN. Próba oceny metod. Informatyka Ekonomiczna = Business Informatics, 2018, Nr 2 (48), s. 9-18.
4. Karkula M.: Modelowanie i symulacja procesów logistycznych. AGH, Kraków 2013.
5. Nowicki T., Waszkowski R.: Symulacyjne badanie efektywności funkcjonowania przedsiębiorstwa serwisującego odzież roboczą, Symulacje komputerowe w badaniach i rozwoju, Politechnika Białostocka, Białystok 2020
6. Raport z prac badawczych projektu INNKAS, POIR.01.02.00-0097/17, Intermarium sp. z o.o , Kraków 2018.