

Dr inż. Waldemar Małopolski, email: [malopolski@mech.pk.edu.pl](mailto:malopolski@mech.pk.edu.pl)  
Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny

## ZASTOSOWANIE SYMULACJI KOMPUTEROWEJ Z ELEMENTAMI GRAFIKI 3D DO PROJEKTOWANIA SYSTEMÓW TRANSPORTOWYCH

**Streszczenie:** W artykule opisano możliwość wykorzystania programu Arena do modelowania i symulacji procesów dyskretnych jako narzędzia wspomagającego projektowanie systemów transportowych. Dla prostego systemu produkcyjnego opracowano model symulacyjny zawierający system transportowy składający się z transportera i taśmociągu. W celu ułatwienia analizy poprawności działania systemu transportowego zbudowano wizualizację z elementami grafiki 3D.

**Słowa kluczowe:** systemy transportowe, modelowanie i symulacja, grafika 3D

## TRANSPORTATION SYSTEMS DESIGN USING COMPUTER SIMULATION WITH 3D GRAPHICS

**Abstract:** A possibility of using Arena software for modeling and simulation of discrete processes as a tool to support transport systems design is presented in this paper. For a simple production system simulation model was developed that contains the transport system consisting of transporter and conveyor. In order to facilitate the analysis of the operation of the transport system was built 3D visualization.

**Keywords:** transportation systems, modeling and simulation, 3D graphics

### 1. WPROWADZENIE

Duża dynamika rozwoju gospodarczego w wielu regionach świata oraz postępująca globalizacja prowadzi do wzrostu konkurencji wśród wytwórców dóbr konsumpcyjnych. Efektem tych zmian jest ciągłe dążenie do obniżania kosztów produkcji. W warunkach globalnego rynku umiejętność optymalizacji kosztów wytwarzania warunkuje możliwość przetrwania każdego producenta. Z tego względu coraz większego znaczenia nabierają wszelkie metody i narzędzia pomagające zoptymalizować procesy wytwórcze, tzn. obniżyć koszty, poprawić jakość i zwiększyć wydajność. Bardzo ważne jest redukcowanie a wręcz eliminowanie z procesów wytwórczych wszystkich tych czynności, które nie generują wartości dodanej. Taką bardzo dużą grupą są wszelkie czynności transportowe. Najlepszym rozwiązaniem byłaby ich całkowita eliminacja. Niestety nie jest to możliwe. Należy w tej sytuacji dążyć do ograniczenia czynności transportowych oraz do obniżenia ich kosztów. Mając na uwadze wzrost efektywności całego systemu wytwórczego zazwyczaj zakłada się pełnienie przez system transportowy roli typowo usługowej względem systemu wytwarzania [6].

Od wielu lat rozwijane są różne metody naukowe, które pozwalają na poszukiwanie optymalnych rozwiązań w zakresie organizacji procesów wytwórczych. W ramach badań operacyjnych opracowano wiele bardzo skutecznych metod analitycznych, które pozwalają znaleźć optymalne rozwiązanie różnych zadań. Metody te posiadają jednak wiele ograniczeń i mogą być wykorzystane tylko do niektórych praktycznych przypadków. Rzeczywiste zadania optymalizacji procesów wytwórczych są bardzo złożone i różnorodne. Jeżeli nie możemy rozwiązać danego problemu za pomocą metod analitycznych, to można próbować zastosować inne metody, np. heurystyczne [5] lub algorytmy ewolucyjne [4]. Jednak w wielu przypadkach jedynym efektywnym i szybkim

sposobem rozwiązania problemu jest zastosowanie metod symulacyjnych. Podstawowym warunkiem pozwalającym na przeprowadzenie eksperymentu symulacyjnego jest zbudowanie modelu badanego obiektu lub systemu. Jako obiekt traktujemy wyodrębniony z otaczającej nas rzeczywistości element o charakterze materialnym lub abstrakcyjnym. Z kolei zbiór wyodrębnionych obiektów, powiązanych ze sobą odpowiednimi relacjami, opisującymi wzajemne oddziaływanie tych obiektów na siebie, nazywamy systemem. Symulacja polega na uproszczonym odtwarzaniu zachowania się rzeczywistego obiektu lub systemu w postaci jego modelu symulacyjnego. Poprzez wprowadzanie zmian oddziaływania sygnałów wejściowych z otoczenia na model oraz poprzez zmianę wewnętrznych parametrów możliwe jest obserwowanie zachowania się modelu badanego obiektu lub systemu [7]. Poziom szczegółowości budowanego modelu zależy bezpośrednio od celu, w jakim ma być przeprowadzona symulacja. Modele symulacyjne mogą być budowane w celu badania zachowania się systemów dopiero projektowanych lub już istniejących, na których przeprowadzanie eksperymentów jest kosztowne, niebezpieczne albo wręcz niemożliwe. Należy pamiętać, że przeprowadzenie eksperymentu symulacyjnego też może generować duże koszty. Istotny w tym zakresie jest odpowiedni wybór metody modelowania i wykorzystywanych narzędzi. Nie można pominąć odpowiedniego przygotowania merytorycznego i wymaganego doświadczenia w określonym zakresie tematycznym. Warunkuje to poprawność budowanego modelu symulacyjnego. Po zbudowaniu modelu symulacyjnego należy dokonać weryfikacji jego poprawności. Chodzi o to, aby zachowanie modelu odpowiadało zachowaniu rzeczywistego obiektu lub systemu. Po zbudowaniu i weryfikacji poprawności modelu można przystąpić do przeprowadzania eksperymentów symulacyjnych. Należy nadmienić, że w pewnych przypadkach może to być proces kosztowny i długotrwały.

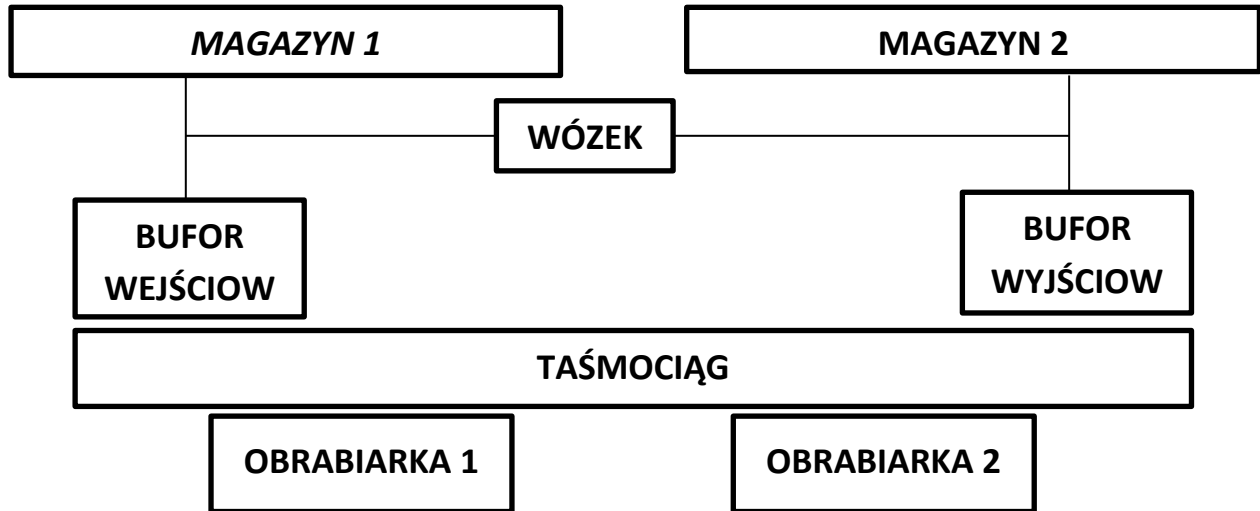
Duży wzrost wydajności obliczeniowej komputerów oraz znaczący rozwój metod i narzędzi programistycznych spowodował w ostatnim czasie duży rozwój programów symulacyjnych. Znacząco zwiększyła się ich funkcjonalność i wydajność. Duża grupa programów symulacyjnych jest przeznaczona do modelowania i symulacji procesów dyskretnych. Kryterium wyboru odpowiedniego programu może być np. jego funkcjonalność. Obecnie większość tego typu aplikacji posiada odpowiednie środowisko graficzne do budowania modeli. Jest to bardzo duże ułatwienie. Ponadto są dostępne różne narzędzia do analizy i obróbki wyników symulacji. Bardzo często programy symulacyjne posiadają możliwość wizualizacji i animacji procesu symulacji z elementami grafiki 2D i 3D.

Jednym z bardzo popularnych programów przeznaczonych do modelowania i symulacji procesów dyskretnych jest Arena firmy Rockwell Software. Program ten posiada specjalną grupę narzędzi do modelowania systemów transportowych [1]. Ponadto jest wyposażony w moduł do budowania wizualizacji modelu w postaci grafiki 3D [2]. Funkcjonalność tego programu pozwala na zbudowanie modeli systemów transportowych „ciągłych” – opartych na taśmociągach lub „dyskretnych” – opartych na różnego rodzaju pojazdach. W dalszej części artykułu przedstawiono możliwości wykorzystania tego programu do projektowania i analizy różnych rozwiązań systemów transportowych. Rozwiązania te przedstawiono dla przykładowego systemu produkcyjnego, opisanego w następnym punkcie.

## 2. SYSTEM PRODUKCYJNY

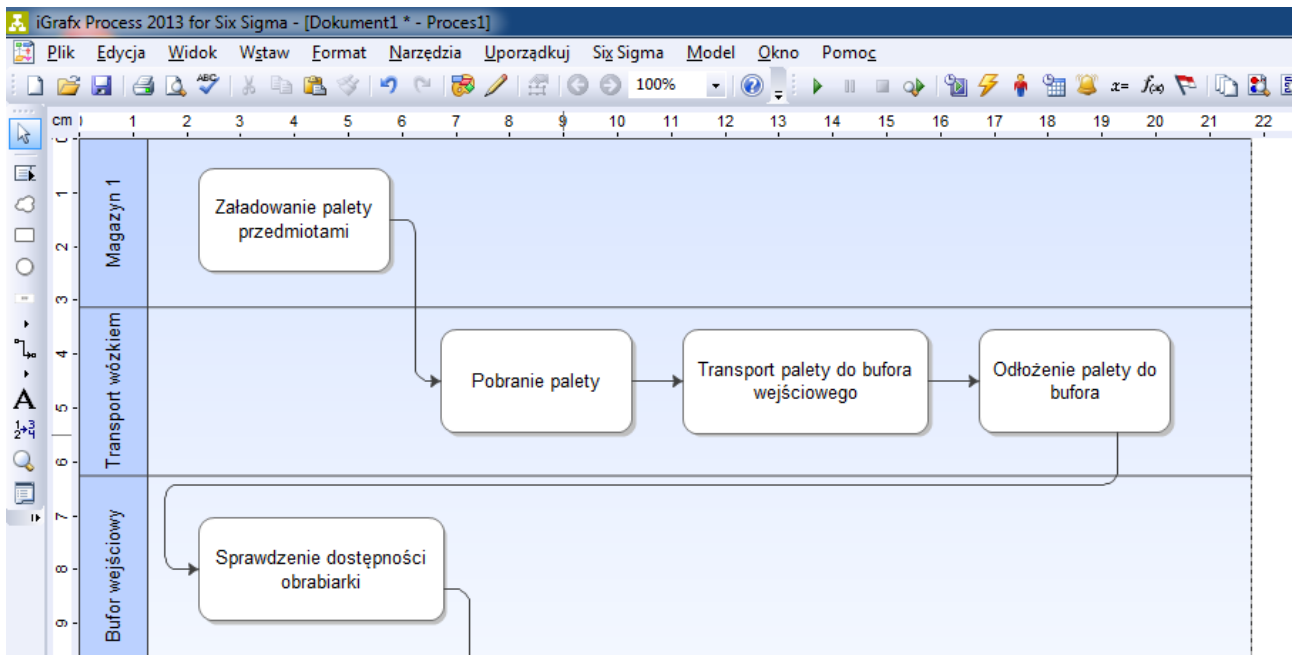
W systemie produkcyjnym, przedstawionym na rysunku 1, przedmioty do obróbki są ładowane na paletę i pobierane z magazynu pierwszego (MAGAZYN 1). Paletę pobiera wózek (WÓZEK), który jest dyskretnym środkiem transportu. Po pobraniu przez wózek przedmioty na paletę są zawożone do bufora wejściowego (BUFOR WEJŚCIOWY). Następnie paleta z bufora wejściowego jest przemieszczana na taśmociąg (TAŚMOCIĄG), który jest ciągłym środkiem transportu. Taśmociąg zawozi paletę na obrabiarkę pierwszą

(OBRABIARKA 1). Po zakończeniu obróbki przedmiotów na obrabiarce pierwszej paleta jest przewożona taśmociągiem na obrabiarkę drugą (OBRABIARKA 2). Po zakończeniu obróbki na obrabiarce drugiej taśmociąg przewozi paletę z przedmiotami do bufora wyjściowego (BUFOR WYJŚCIOWY). Z bufora wyjściowego paleta jest odwożona przez wózek do magazynu drugiego (MAGAZYN 2).



Rys.1 Schemat blokowy przykładowego systemu produkcyjnego

Opisana powyżej marszruta może być zapisana w różnych formach. Jedną z metod jest przedstawienie jej w postaci diagramu, rysunek 2. Jako narzędzie wykorzystano program iGrafx. Dużą zaletą tego programu jest potencjalna możliwość automatyzacji przygotowania danych wejściowych do przeprowadzenia symulacji w programie Arena. Rozwiązanie to wymaga jednak napisania specjalnego programu, rozbudowującego pewne możliwości funkcjonalne programu iGrafx. Takie rozwiązanie jest opłacalne w przypadku budowania modelu symulacyjnego dla wielu bardzo złożonych procesów.

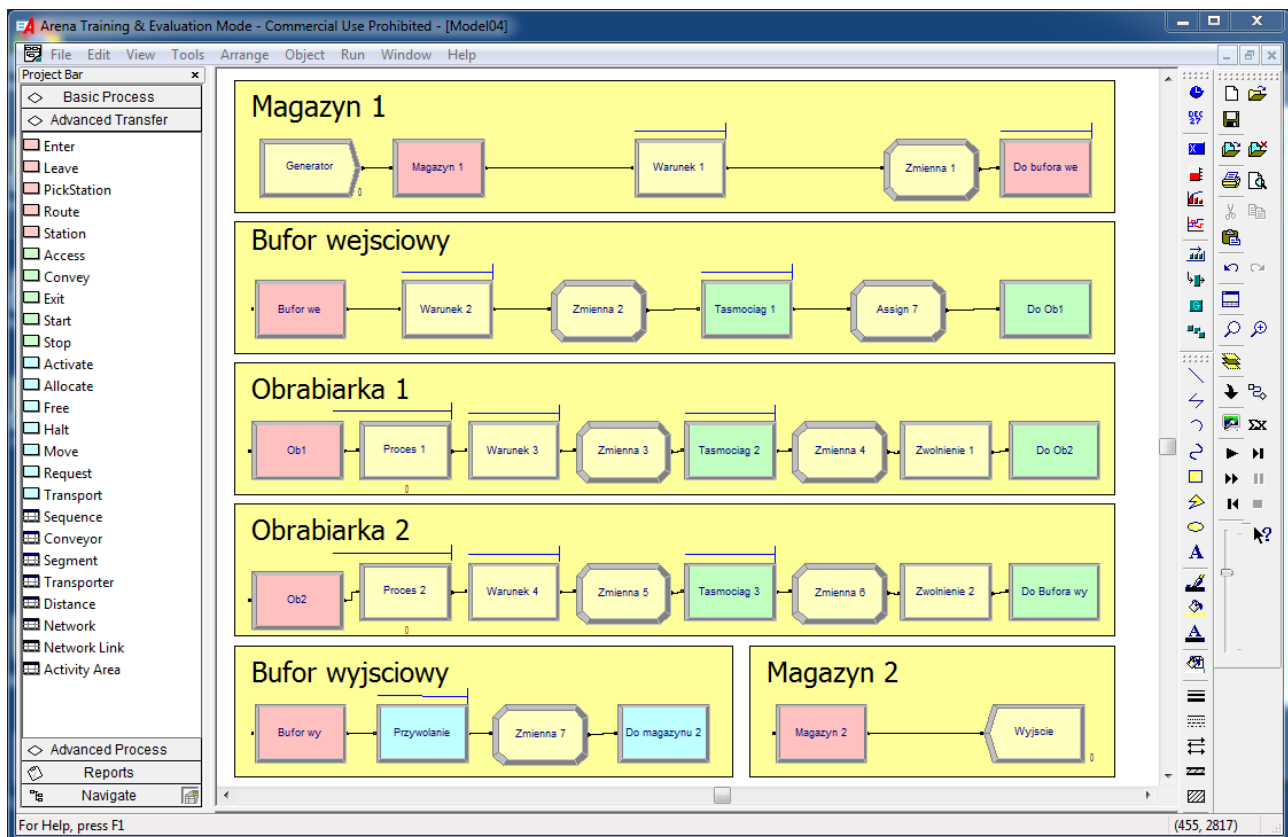


Rys.2 Fragment marszrut zapisany w postaci diagramu

Na podstawie opisanej wyżej marszruty i schematu blokowego systemu produkcyjnego zbudowano model symulacyjny w programie Arena.

### 3. MODEL SYMULACYJNY

Program Arena posiada odpowiednio przygotowane środowisko graficzne do budowania modeli symulacyjnych. Gotowe moduły funkcjonalne, z których jest „składany” model pozwalają na duże przyspieszenie prac. Przygotowanych jest kilka grup modułów funkcjonalnych o różnym przeznaczeniu. Jest m.in. grupa dedykowana do modelowania systemów transportowych o nazwie Advanced Transfer. Na rysunku 3 pokazano główną część modelu systemu produkcyjnego z rys. 1. Przygotowanie poprawnego modelu wymaga jednak dobrej znajomości samego programu Arena oraz metodyki budowania modeli. W celu ułatwienia weryfikacji poprawności działania zbudowanego modelu można wykorzystać proste narzędzia do szybkiej wizualizacji z wykorzystaniem grafiki 2D. Takie rozwiązanie znacznie ułatwia analizę działania modelu i wychwycenie ewentualnych błędów.



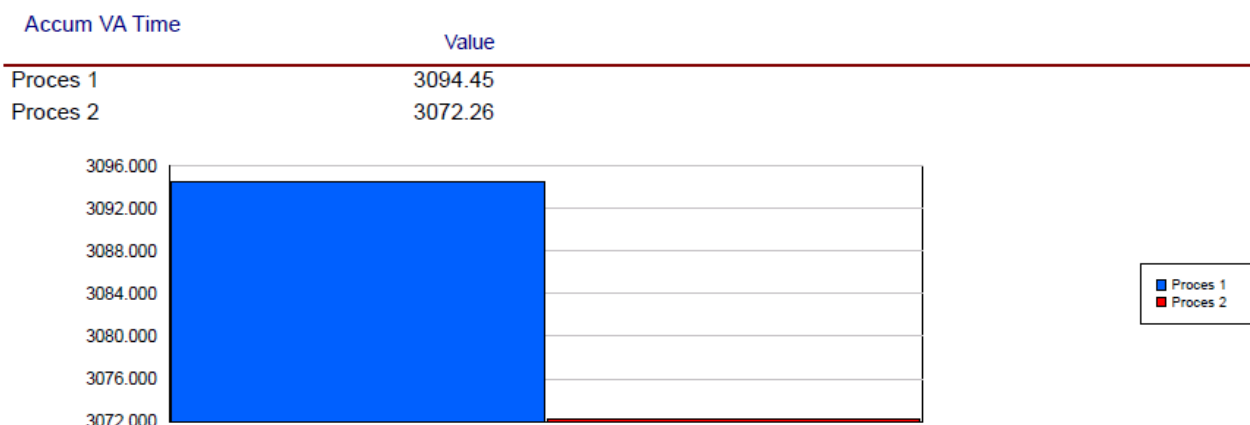
Rys.3 Model symulacyjny systemu produkcyjnego

Arena jest programem o przeznaczeniu komercyjnym i oferowana przez nią funkcjonalność pozwala na modelowanie dowolnych rzeczywistych rozwiązań systemów transportowych. W przypadku taśmociągów można m.in. modelować rozwiązania o charakterze akumulacyjnym i nieakumulacyjnym. W przypadku transportu opartego na obiektach dyskretnych mamy do wyboru dwa sposoby. Pierwszy uproszczony, przeznaczony do modelowania rozległych systemów transportowych (o względnie dużych odległościach). Drugi sposób jest dedykowany do systemów zautomatyzowanych, opartych np. na automatycznie sterowanych pojazdach. W tym przypadku dużą rolę mogą

odgrywać niewielkie odległości oraz opóźnienia związane z przyspieszaniem podczas ruszania i opóźnieniem podczas zatrzymywania się pojazdów.

Wykorzystując program Arena można stosunkowo szybko zbudować modele różnych wariantów systemów transportowych a po przeprowadzeniu symulacji dokonać odpowiedniej analizy i wybrać najlepsze rozwiązanie ze względu na odpowiednio przyjęte kryterium [3]. Dla ułatwienia Arena jest wyposażona w bardzo bogaty zestaw narzędzi do zbierania, analizowania i wizualizacji różnych danych zbieranych podczas symulacji. Na rysunku 4 zaprezentowano przykład wykresu przedstawiającego wartość zakumulowanego czasu realizacji procesów obróbki na dwóch obrabiarkach (z wartością dodaną).

### Accumulated Time



Rys.4 Przykład wykresu zakumulowanego czasu realizacji procesów (z wartością dodaną)

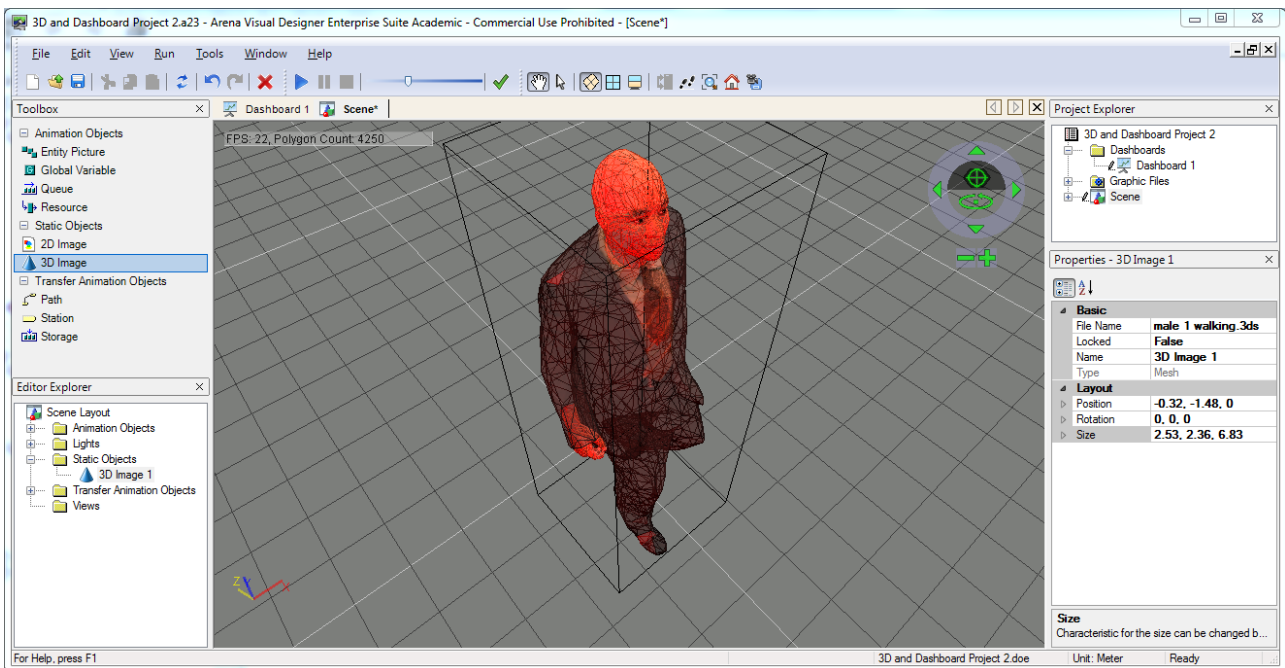
Po zbudowaniu modeli symulacyjnych różnych rozwiązań systemów transportowych i po wybraniu tego najlepszego, można zbudować w Arenie wizualizację opartą na grafice 3D. Oczywiście taką wizualizację można zbudować dla każdego modelu i na każdym etapie jego budowania. Jednak ze względu na pewną pracochłonność nie jest to wskazane.

## 4. WIZUALIZACJA 3D

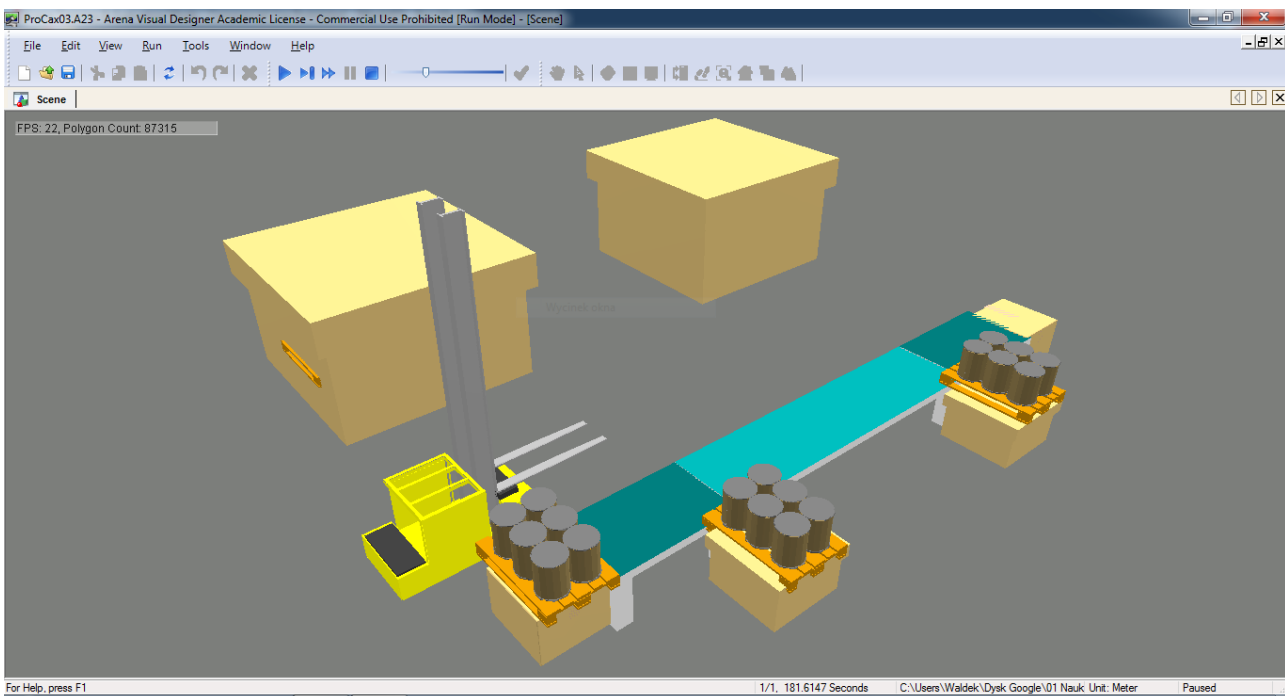
Program Arena jest wyposażony w narzędzie Visual Designer, przeznaczone do tworzenia wizualizacji 3D. Zbudowana wizualizacja podlega dynamicznej animacji podczas symulacji modelu. Tworzenie animacji jest stosunkowo łatwe. Środowisko programu, rys. 5, jest intuicyjne. Głównym elementem jest okno edycji, które zawiera główną scenę oraz szereg okien narzędziowych. Na uwagę zasługuje duża biblioteka gotowych obiektów 3D jak i 2D, które mogą być użyte do budowy wizualizacji. Program pozwala również na importowanie obiektów utworzonych w innych programach. Podczas budowania wizualizacji można ustawiać szereg parametrów, m.in. odpowiednie oświetlenie, tekstury itp. Z poziomu programu Visual Designer występuje bezpośrednie powiązanie z obiektami wcześniej zdefiniowanymi w modelu, w programie Arena. Zdefiniowane w modelu obiekty, np. środki transportu: taśmociągi i wózki, są wprost dostępne do budowy animacji. Wystarczy przyporządkować im odpowiednie obiekty 3D i umieścić w określonym miejscu sceny. Podczas budowania wizualizacji można zdefiniować różne widoki, z różnych stron sceny, tak aby zaprezentować szczególnie interesujące miejsca. Zbudowanie wizualizacji 3D z odpowiednim poziomem szczegółów pozwala na dokładne zaprezentowanie proponowanego rozwiązania i ułatwia zrozumienie zasady działania systemu



transportowego. Na rysunku 6 przedstawiono opracowaną wizualizację 3D opisanego wyżej systemu produkcyjnego.



Rys.5 Program Visual Designer do tworzenia animacji 3D



Rys.6 Wizualizacja 3D systemu produkcyjnego

## 5. PODSUMOWANIE

Podczas projektowania systemów transportowych szczególną wagę przykładana się do ich wysokiej efektywności, co powinno się bezpośrednio przekładać na niskie koszty budowy a zwłaszcza eksploatacji. Wykorzystanie symulacji komputerowej do analizowania różnych rozwiązań na etapie projektowania systemów transportowych ułatwia wybranie

najlepszego wariantu. Takie podejście jest szczególnie przydatne podczas prac nad modernizacją już działających systemów. W oparciu o symulację można dokonać oceny efektywności różnych rozwiązań i zminimalizować czas potrzebny na przestoje podczas modernizacji. Przedstawiony w artykule program Arena wydaje się być szczególnie przydatny do tego typu zadań. Posiada on bowiem grupę bloków funkcjonalnych specjalnie dedykowanych do modelowania systemów transportowych. Ponadto rozbudowane możliwości tworzenia wizualizacji i animacji z grafiką 3D czyni ten program szczególnie użyteczny w tego typu zastosowaniach.

## LITERATURA

- [1] Arena User's Guide, Arena online documentation.
- [2] Arena Visual Designer, Visual Designer help.
- [3] Ekren B. Y., Heragu S. S., Simulation based regression analysis for rack configuration of autonomous vehicle storage and retrieval system, Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, pp: 2405-2413.
- [4] Krenich S., Optymalna alokacja obiektów z wykorzystaniem algorytmów ewolucyjnych, LOGISTYKA, 3, Radom, 2011, s.1365-1375.
- [5] Krenich S., Pewne metody hybrydowe w jednokryterialnej optymalizacji konstrukcji, CZASOPISMO TECHNICZNE, 4-M/2011/B, Zeszyt 7, 2011, s.255-262.
- [6] Zając J., Chwajół G.: Koncepcja integracji rozproszonego systemu sterowania produkcją AIM z podsystemem transportu międzyoperacyjnego zbudowanym z autonomicznych robotów mobilnych, POMIARY - AUTOMATYKA - ROBOTYKA. PAR, Nr 2, 2011, s.392-401.
- [7] Zdanowicz R., Świder J., Modelowanie i symulacja systemów produkcyjnych w programie Enterprise Dynamics. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.