

# WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA KONCEPCYJNEGO MEBLI Z ZASTOSOWANIEM APLIKACJI RZECZYWISTOŚCI WIRTUALNEJ I TECHNIK OPARTYCH NA WIEDZY

Przemysław ZAWADZKI, Filip GÓRSKI, Paweł BUŃ, Adam HAMROL,  
Wiesław KUCZKO, Radosław WICHNIAREK

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono prototypowy system, wspomagający projektowanie koncepcyjne nowych wyrobów, w którym zintegrowano autogenerujące modele CAD oraz aplikację wirtualnej rzeczywistości. Przygotowanie koncepcji nowego wyrobu realizowane jest w środowisku VR, gdzie projektanci odpowiedzialni za design wyrobu wykorzystują specjalnie przygotowany interfejs graficzny. Dane z aplikacji VR są następnie przetwarzane przez program CAD, który wykorzystując bazę wiedzy, automatycznie przygotowuje odpowiednią dokumentację techniczną nowego wyrobu. W pracy przedstawiono architekturę oraz sposób budowy prototypowego systemu, wspomagającego projektowanie mebli.

**Słowa kluczowe:** system VR, projektowanie CAD, projektowanie oparte na wiedzy, automatyzacja projektowania,

## 1. Wprowadzenie

Przedsiębiorstwa produkcyjne w walce o silną pozycję na rynku muszą obecnie mierzyć się z wieloma wyzwaniami. Skrócenie czasu życia wyrobu wpływa na konieczność redukcji czasu poszczególnych faz jego rozwoju [1]. Wdrożenie rozwiązań, optymalizujących proces projektowania nowych wyrobów, pozwalających przyspieszyć ich wprowadzanie na rynek, może być skutecznym sposobem podnoszącym konkurencyjność firmy. Do takich technik zalicza się systemy CAx (ang. Computer Aided Technologies), wspierające ideę projektowania opartego na wiedzy oraz systemy rzeczywistości wirtualnej (ang. Virtual Reality, VR), wykorzystywane m.in. w wirtualnym prototypowaniu (opracowanie, analiza i ocena prototypów w wirtualnym środowisku) [2].

W praktyce przemysłowej coraz powszechniejsze staje się przygotowywanie rozwiązań informatycznych, usprawniających i koordynujących konkretny proces projektowania, pozwalając skrócić jego czas i zapewnić mu odpowiednią jakość [3,4]. Nowoczesne systemy CAx pozwalają na wzbogacenie modeli geometrycznych CAD (ang. Computer Aided Design) formalnym zapisem wiedzy inżynierskiej. Powstające w ten sposób komputerowe, inteligentne modele wyrobu są podstawą tzw. inżynierskich systemów opartych na wiedzy – KBE (ang. Knowledge Based Engineering) [5]. W systemach klasy KBE, rozpoznana i zgromadzona od ekspertów wiedza o tym co, jak i kiedy należy robić, przetwarzana jest przez system komputerowy, pozwalając na jej łatwiejsze stosowanie w nowych projektach [6]. Formalny opis reguł stosowanych przez konstruktorów, wpływa na standaryzację procesu projektowania i przyspiesza opracowanie prototypu.

Przygotowanie wirtualnego prototypu i jego analizowanie jest również jednym z podstawowych zastosowań systemów rzeczywistości wirtualnej (VR) i stanowi znaczącą

rozszerzenie technik komputerowych stosowanych w projektowaniu inżynierskim. Techniki wirtualnej rzeczywistości umożliwiają umieszczenie modelu utworzonego w systemie CAD w dowolnie ukształtowanym środowisku wirtualnym, w obecności innych wirtualnych obiektów. Podstawową cechą środowiska wirtualnego jest odwzorowanie wzajemnych interakcji obiektów oraz ich zachowań w odpowiedzi na zdarzenia, wywoływane przez użytkownika lub przez inne obiekty (ciągi przyczynowo-skutkowe). Cechy odróżniające wirtualną rzeczywistość od tradycyjnej symulacji komputerowej (także wizualizacji 3D) to stała obecność użytkownika w wirtualnym środowisku (tzw. zanurzenie – immersja) i jego interakcja z obiektami wypełniającymi to środowisko [1,7].

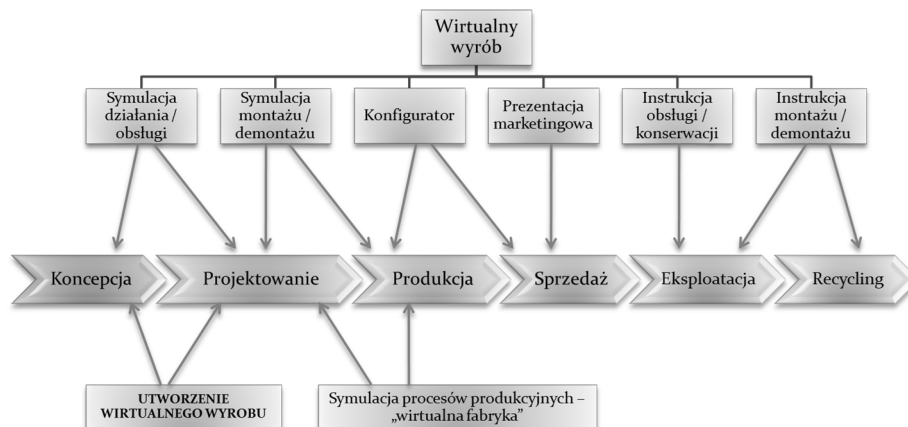
Artykuł przedstawia koncepcję systemu, integrującego aplikację VR oraz program CAD, przy zastosowaniu technik opartych na wiedzy, w celu skrócenia czasu projektowania nowego wyrobu na przykładzie mebli skrzyniowych.

## 2. Systemy wirtualnej rzeczywistości

Systemy VR to rozwiązania, które wspierają dziś nie tylko przemysł wojskowy, medycynę czy rozrywkę, ale także procesy produkcyjne, poprzez specjalistyczne aplikacje szkoleniowe, narzędzia wspomagające projektowanie czy sprzedaż (konfiguratorzy wyrobów). W ujęciu technicznym system VR można podzielić na oprogramowanie oraz sprzęt, które w połączeniu mają zapewnić użytkownikowi jak najwyższy stopień immersji. Aby to osiągnąć, system VR musi dostarczyć użytkownikowi jak najwięcej sygnałów zastępujących wrażenia zmysłowe pochodzące z prawdziwego świata. Z pięciu podstawowych zmysłów człowieka najwięcej informacji daje wzrok. Największy zatem nacisk w rozwoju systemów VR położono na urządzenia stereowizji [7]. Drugim najważniejszym w kolejności zmysłem jest dotyk, a trzecim słuch, rozwija się więc też urządzenia VR dostarczające wrażenia tym zmysłom.

Najważniejszym komponentem każdego systemu rzeczywistości wirtualnej jest aplikacja VR. Pojęcie „aplikacja VR” należy rozumieć jako zamkniętą w sensie programistycznym całość, zawierającą wirtualne modele obiektów umieszczone w odpowiednim środowisku, z zapewnieniem użytkownikowi interakcji oraz immersji. Dwa podstawowe typy aplikacji VR to aplikacje zorientowane na pojedynczy obiekt (najczęściej model wirtualny określonego wyrobu) oraz na środowisko (scenę). Do najpopularniejszych obecnie stosowanych rodzajów inżynierskich aplikacji VR należą m. in. wirtualne symulacje działania, obsługi montażu i demontażu [7], wirtualne stanowiska pracy [2, 9] czy konfiguratorzy produktów [10]. W zależności od fazy cyklu życia wyrobu, w której powstaje aplikacja VR określonego typu, może być ona stosowana do testowania funkcjonalności produktu, szkolenia personelu czy wizualizacji produktu dla celów marketingowych [8].

Model wyrobu istniejący wyłącznie w środowisku wirtualnym, wykorzystywany w całym procesie projektowania do wykonywania testów i prób mających na celu jego udoskonalenie i rozwój nazywa się modelem (prototypem) wirtualnym. Jest to cyfrowa reprezentacja wyrobu rzeczywistego, która może być zastosowana w dowolnym miejscu cyklu życia wyrobu. Wirtualny model wyrobu jest stosowany w wielu dziedzinach przemysłu m.in. przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym, jądrowym itp. W tych gałęziach przemysłowych wszystkie fazy projektowania, testowania i udoskonalania wyrobu jak również przygotowanie jego produkcji opierają się obecnie wyłącznie na modelu wirtualnym (rys. 1) [1].



Rys. 1. Miejsce wirtualnego wyrobu w cyklu życia produktu [1]

Do najważniejszych etapów w opracowaniu aplikacji VR zalicza się:

- **Przygotowanie modelu** – polega na konwersji parametrycznego modelu bryłowego lub powierzchniowego utworzonego w wybranym systemie CAD na siatkę wielokątów (ang. *polygon mesh*). W zależności od wymaganej jakości wizualizacji, przekształcony model może zostać bezpośrednio zaimportowany do środowiska wirtualnego lub też do oprogramowania umożliwiającego zastosowanie zaawansowanych technik wizualizacji (jak np. 3D Studio Max).
- **Programowanie zachowań obiektów** – przede wszystkim ruch obiektów w odpowiedzi na zdarzenie wygenerowane przez użytkownika lub przez inny obiekt. Inne zachowania obiektów to deformacje (dynamiczna zmiana geometrii) czy też zmiana wyglądu (płynna zmiana przezroczystości, koloru itp.). Sposób programowania zachowań zależy od stosowanego oprogramowania. W większości dostępnych systemów przyjęło się programowanie wizualne, polegające na tworzeniu połączeń między węzłami, wymieniającymi ze sobą dane różnego typu.
- **Opracowanie interfejsu użytkownika** – interfejs musi być intuicyjny i umożliwiać łatwe uruchamianie wszelkich niezbędnych funkcji wirtualnego modelu. Prawie zawsze stosuje się pewną formę interfejsu graficznego (ang. Graphical User Interface, GUI), w połączeniu z klasycznymi urządzeniami interakcji (myszą i klawiaturą) lub z technikami śledzenia położenia rąk lub innych części ciała użytkownika.

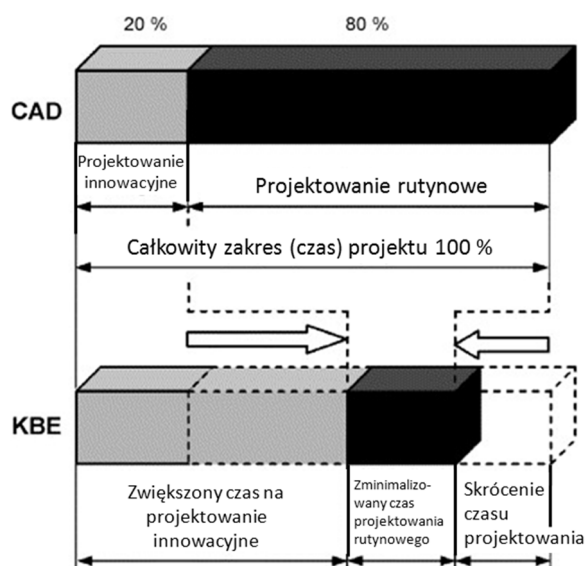
### 3. Projektowanie oparte na wiedzy

Problematyka zarządzania wiedzą w procesie projektowo – konstrukcyjnym stała się przedmiotem wielu badań jeszcze w latach 90-tych. Do dziś powstało wiele rozwiązań o różnym stopniu uogólnienia, opierających się o repozytoria, bazy danych czy sztuczną inteligencję [5]. Najefektywniejsze z nich bazują na strukturalizowanych formach reprezentacji wiedzy, co pozwala na stosunkowo łatwe jej przetwarzanie [6,11]. Powstało wiele wzorców do budowy systemów opartych na wiedzy ogólnej, nazywanych systemami KBS (ang. Knowledge Base System), oraz w sposób szczególnie uwzględniających proces projektowania inżynierskiego. KBE łączy programowanie zorientowane obiektowo,

techniki sztucznej inteligencji i programy CAD, umożliwiając automatyzację rutynowych zadań realizowanych w procesie projektowania [12].

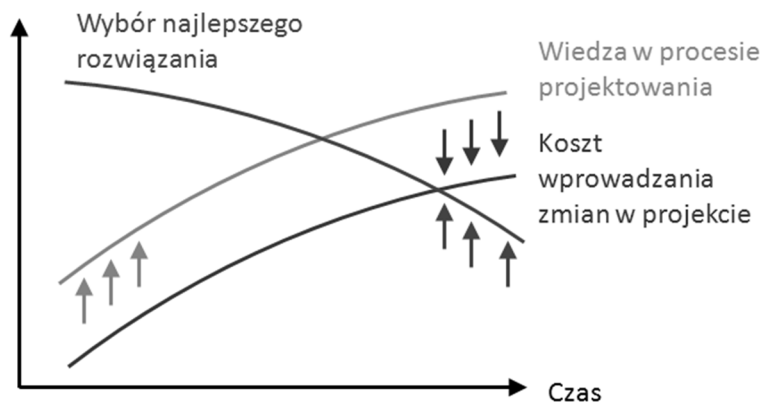
Rozwój metod projektowania opartego na wiedzy jest bardzo wyraźnie związany z systemami CAx. Pozwalają one na coraz efektywniejsze zarządzanie wiedzą, poprzez jej pozyskiwanie, formalizację i implementację, w celu jej ponownego zastosowania. Zgromadzone dane i informacje służą ponownemu wykorzystaniu, wspomagając podejmowanie decyzji i przyspieszając rutynowe, często powtarzające się czynności. Implementację wiedzy prowadzi się poprzez odpowiednie opisanie faktów (wartości cech), zależności zachodzących pomiędzy nimi (relacji) i procedur mówiących o czynnościach z nich wynikających. Pozwala to na budowę parametrycznych, inteligentnych modeli CAD, wykorzystywanych do automatyzacji projektowania, dzięki realizację zapisanych w ich strukturze algorytmów.

Budowa systemu KBE może przynieść liczne korzyści, do których zalicza się przede wszystkim możliwość skrócenia czasu projektowania, zmniejszenie kosztów cyklu życia wyrobu (ang. PDP - Product Development Process), wpływ na rozwój prac kreatywnych (rys. 2) czy możliwość dotarcia do zapisanej wiedzy i ponownego jej wykorzystania [13].



Rys. 2. Korzyści z zastosowania systemu KBE [5]

Zarządzanie wiedzą w procesie projektowania jest istotne dla przedsiębiorstwa również ze względów ekonomicznych – szybsze projektowanie przy zachowaniu poprawności konstrukcji może przełożyć się na oszczędności. Zastosowanie rozwiązań opartych na wiedzy we wczesnym etapie projektowania, zmniejsza koszty późniejszego wprowadzania zmian i wpływa na swobodę wyboru najlepszego rozwiązania [14] (rys. 3).



Rys. 3. Wpływ projektowania opartego na wiedzy na koszty wprowadzania zmian i możliwość wyboru najlepszego rozwiązania [14]

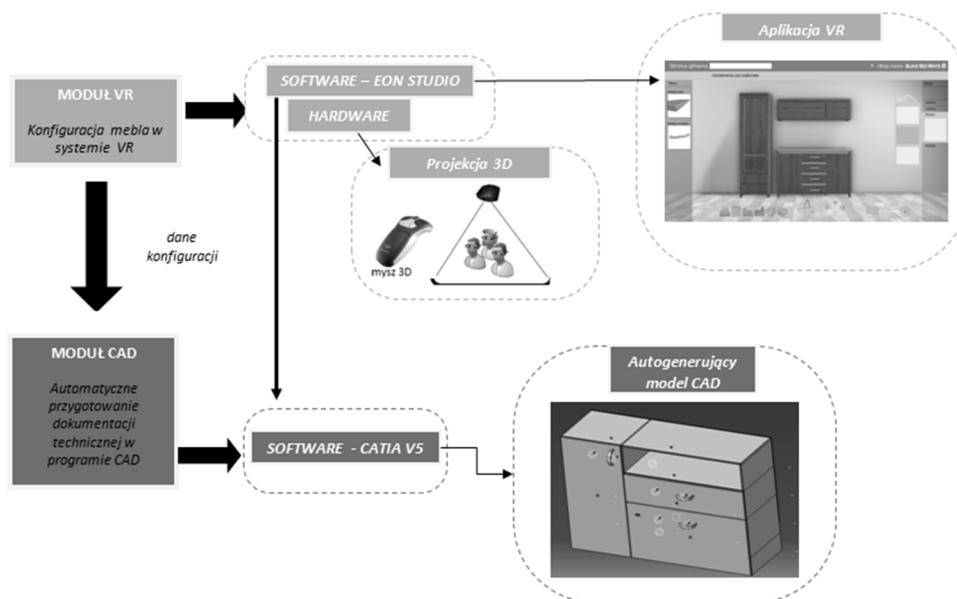
#### 4. Prototyp nowego systemu

##### 4.1 Koncepcja rozwiązania

Koncepcja systemu to wynik współpracy autorów z pracownikami działów rozwoju/prototypowania oraz biura technicznego przedsiębiorstwa zajmującego się produkcją mebli. Projektanci, pracujący nad nowym meblem, większość pojawiających się pomysłów weryfikowali poprzez budowę fizycznego prototypu konkretnego mebla, który następnie poddawali konfiguracji, dobierając materiały, kolorystykę, rozkład elementów (frontów, półek, uchwytów, itd.). Wymagało to dużych nakładów czasu oraz zaangażowania pracowników prototypowani. Ponadto, niektóre wstępnie zatwierdzone koncepcje wymagały dalszych modyfikacji, ponieważ nie były akceptowane przez dział techniczny.

Planując usprawnienie tego procesu zaproponowano rozwiązanie w postaci zintegrowanego systemu informatycznego (rys. 4). W jego opracowaniu założono przygotowanie oraz połączenie dwóch oddzielnych komponentów, nazywanych dalej modułami systemu. Pierwszy to moduł VR, czyli aplikacja, pozwalająca projektantom na konfigurację wirtualnego prototypu nowego mebla. Drugi to moduł CAD, w którym automatycznie przygotowywana jest dokumentacja techniczna budowanego prototypu, na podstawie inteligentnego, autogenerującego modelu CAD.

W opracowaniu systemu postanowiono zastosować ideę projektowania opartego na wiedzy, polegającą na pozyskaniu, ujednoczeniu i zaimplementowaniu w obu modułach wiedzy o realizowanych w przedsiębiorstwie sposobach projektowania mebli.

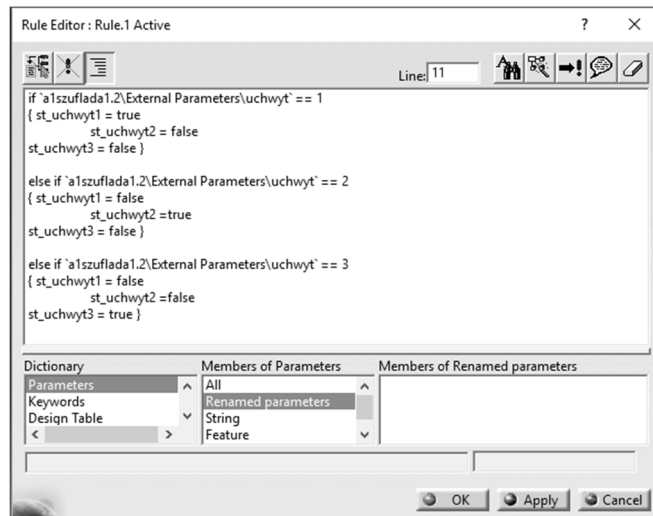


Rys. 4. Koncepcja systemu wspomagającego projektowanie

#### 4.2 Przygotowanie inteligentnych modeli CAD

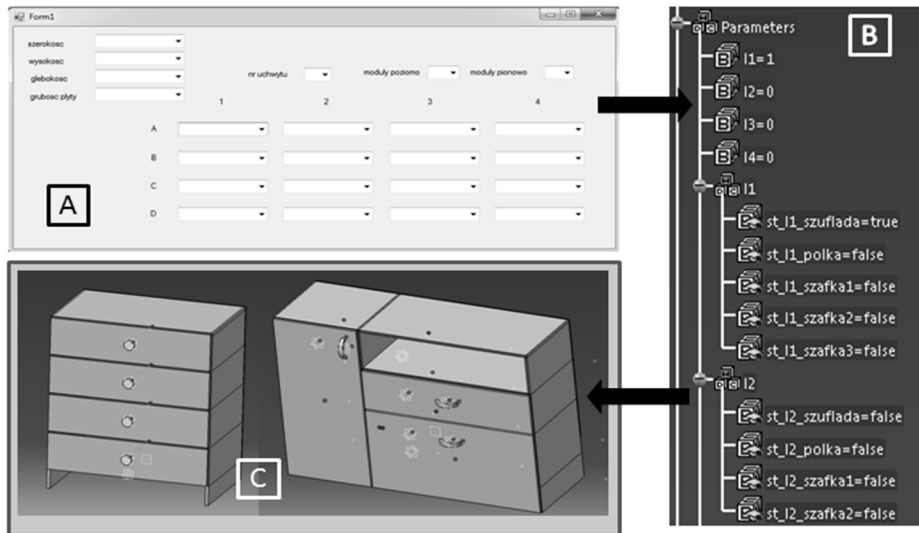
Przed opracowaniem modeli autogenerujących przeprowadzono proces akwizycji wiedzy o realizowanym w przedsiębiorstwie procesie projektowania mebli skrzyniowych. Przeanalizowano istniejącą dokumentację projektową, zebrano informacje o wymaganiach technologicznych oraz wykorzystano wiedzę ekspertów – konstruktorów i technologów. Inteligentne modele CAD opracowano w programie CATIA v5, wykorzystując techniki modelowania parametrycznego oraz narzędzia do zarządzania wiedzą, przygotowując oddzielnie modele dla różnych typów mebli (komoda, szafka wisząca, biurko, regał). Inteligencja takich modeli zależy od rodzaju i złożoności zaimplementowanej w nich wiedzy inżynierskiej. W programie CATIA v5 dostępne są narzędzia, pozwalające na definiowanie parametrów i opis warunków logicznych. Zalicza się do nich:

- formuły - pozwalają definiować dowolną relację zachodzącą między cechami konstrukcyjnymi (ilościowymi i jakościowymi), a budowany model nabiera cech inteligencji, poprzez implementację wiedzy i możliwość reagowania na wprowadzane zmiany konstrukcyjne,
- tabele projektowe – pozwalają zapisać relacje o bardziej złożonym charakterze,
- reguły projektowe – zestaw instrukcji programowych (skryptów), opierających się o instrukcję typu if, else, co pozwala na sterowanie parametrami modelu, (przykład opracowanej reguły został przedstawiony na rysunku 5),
- sprawdzenia – zestaw skryptów mający za zadanie informowanie konstruktora o wystąpieniu w modelu warunków niespełniających założonych wymagań,
- VBA (ang. Visual Basic for Applications), język programowania, stosowany do budowy okien dialogowych lub makropoleczeń, umożliwiających automatyczne wykonywanie zapisanych wcześniej procedur.



Rys. 5. Reguła opisująca procedurę doboru typu uchwyty [15]

W każdym modelu geometrycznym utworzono zmienne parametry (rys. 6B), którym przypisano odpowiednie cechy konstrukcyjne mebla oraz opisano zależności jakie mogą pomiędzy nimi występować. W ten sposób uzyskano możliwość sterowania geometrią modeli – zmiana wartości parametrów, przy uwzględnieniu opisanych relacji, wymusza zmianę geometrii modelu i budowę nowego wariantu mebla (rys. 6C). Przygotowane modele autogenerujące wymagały sprawdzenia. Aby ułatwić to zadanie przygotowano interfejs, ułatwiający definiowanie wartości poszczególnych parametrów budowanego mebla (rys. 6A). W ten sposób konfigurowano, a następnie weryfikowano modele różnych wariantów mebli, sprawdzając poprawność przebiegu procedur modelowania.



Rys. 6. Różne warianty komody uzyskane z jednego modelu CAD, poprzez zmianę parametrów modelu [15]

### 4.3 Opracowanie aplikacji VR

Budowa aplikacji VR wymagała realizacji następujących prac (rys. 7):

1. Przygotowanie danych (modele 3D, tekstury).
2. Projekt interfejsu obsługi.
3. Programowanie – przygotowanie aplikacji VR.

Etap przygotowania danych polegał na obróbce graficznej wybranych modeli mebli w programie 3DS Max. Zostały tam zaimportowane bryłowe modele CAD, dla których wykonano triangulację (reprezentację geometrii w postaci siatki trójkątów). Dla poszczególnych części, stosowanych w meblach, przygotowano układ mapowania, czyli rozkładu tekstur, aby umożliwić rzeczywiste odwzorowanie stosowanych oklein. Opracowano również cyfrową bibliotekę różnych materiałów dla okuć i części niedrewnianych (uchwyty, szyby lustra, itp.). Przygotowane dane sprawdzano pod względem ich poprawności i jakości wizualizacji, weryfikując wyniki z zespołem projektantów.

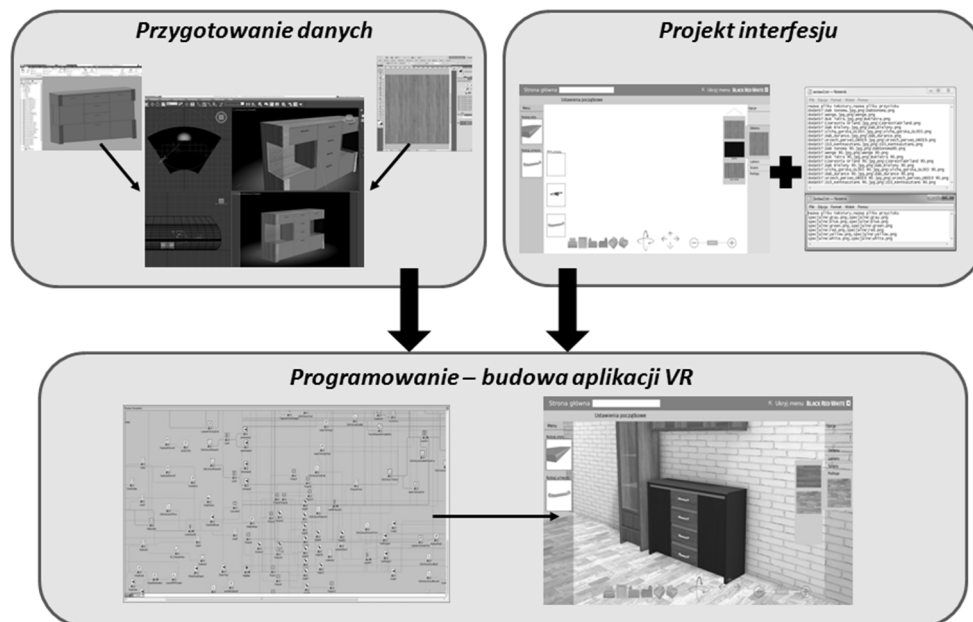
Etap przygotowania interfejsu obejmował opracowanie projektu graficznego oraz opis funkcji, jakie miały być dostępne dla użytkowników systemu. Na tym etapie przygotowano również odpowiednią strukturę danych, mających stanowić zasoby prezentowane w interfejsie (metadane obejmujące m.in.: spis tekstur, kolorów, materiałów, elementów mebli).

Najbardziej rozbudowany był etap programowania, który zrealizowano w programie EON Studio, do którego zaimportowano przygotowane wcześniej dane (modele mebli, materiały i tekstury). Przygotowano wirtualną scenę, sposób jej prezentacji oraz opracowano interfejs użytkownika, zgodnie z przygotowanym projektem. Zadania obejmowały programowanie odpowiednich funkcji aplikacji oraz zachowań wirtualnych obiektów na polecenia użytkownika (zmiany geometrii, materiałów, itp.). W programowaniu zastosowano wiedzę, pozyskaną i opisaną przy budowie modeli autogenerujących, opisując logiczne połączenia (wykluczenia, wymuszenia) pomiędzy elementami projektowanych mebli. Program EON Studio wykorzystuje programowanie wizualne, polegające na tworzeniu połączeń pomiędzy węzłami, wymieniającymi ze sobą dane różnego typu.

### 4.4 Uruchomienie systemu

Zgodnie z opracowaną koncepcją, cały system funkcjonuje w oparciu o dwa zintegrowane moduły. Moduł VR przygotowano tak, aby zapewniać użytkownikom duży zakres interakcji, starając się odwzorować rzeczywisty proces prototypowania (rys. 8). Aplikacja umożliwia swobodne poruszanie się w wirtualnej scenie, konfigurację mebli (opracowanie koncepcji projektu) oraz możliwość ich wizualnej weryfikacji z dowolnej pozycji (swoboda oglądania mebla). Projektanci pracujący nad nowym wariantem stylistycznym mebla, mogą modyfikować jego elementy (m.in. półki, szuflady, okucia) poprzez dodawanie lub ich usuwanie, zmianę położenia, stosowanych materiałów, kolorów lub oklein. Aplikacja pozwala na zapisywanie i odczytywanie każdej konfiguracji. Przygotowano również specjalny interfejs wymiany danych pomiędzy programem EON Studio a programem CATIA v5, dzięki czemu zatwierdzone dane konfiguracyjne mogą być przetwarzane przez modele autogenerujące. Pozwala to na automatyczne opracowanie dokumentacji technicznej CAD nowego wariantu mebla, zgodnie z wytycznymi działu technicznego.





Rys. 7. Etapy opracowania aplikacji VR



Rys. 8. Interfejs aplikacji VR

## 5. Wnioski

Wiedzę o sposobach projektowania mebli (stosowanych rozwiązaniach, regułach projektowych dotyczących ograniczeń i wymuszeń) pozyskano od ekspertów (projektantów, konstruktorów, technologów) oraz na drodze analizy udostępnionej dokumentacji projektowej. Akwizycja wiedzy jest procesem pracochłonnym i realizowana bez systemowego podejścia, może wymagać częstego powtarzania. Odpowiednia strukturalizacja, weryfikacja i implementacja wiedzy pozwoliła na ograniczenie iteracji, realizowanych przy budowie systemu zadań.

W opracowaniu autogenerujących modeli CAD mebli zastosowano narzędzia, pozwalające na opis parametrów i relacji pomiędzy nimi, a także przygotowano makra, odpowiedzialne za realizację odpowiednich procedur projektowych. Dane pochodzące z konfiguracji w aplikacji VR są przez program CAD automatycznie przetwarzane w procesie modelowania. Powstająca w ten sposób dokumentacja nowego wariantu wyrobu zachowuje standardy biura technicznego. Przeprowadzone testy systemu pokazały, że czas generowania dokumentacji nie przekraczał kilku minut.

Koncepcja zastosowania systemu VR spotkała się z pozytywnym odbiorem projektantów. Do zalet zaliczono łatwość obsługi aplikacji, jej funkcjonalność oraz możliwość wspólnej pracy nad projektem większej liczby osób. Osiągnięty poziom jakości graficznej (scena, meble oraz materiały) oceniony został jako satysfakcjonujący, co zdaniem autorów wskazuje na konieczność prowadzenia dalszych prac w tym obszarze. Aplikację wyświetlano w dwóch trybach: standardowym (tradycyjny projektor) oraz stereoskopowym (projektor 3D), przy czym należy podkreślić, że wybór tej opcji uzależniony był od osobistych upodobań użytkownika. Funkcjonalność aplikacji, zdaniem projektantów, powinna zostać w przyszłości rozszerzona, w zakresie opcji konfiguracji oraz weryfikacji wizualnej projektowanego mebla (w kontekście całych kolekcji mebli lub projektu aranżacji wnętrz).

Połączenie technik VR z narzędziami KBE pozwala na uzyskanie intuicyjnego, atrakcyjnego wizualnie narzędzia, wspomagającego opracowanie nowej koncepcji wyrobu. Opracowany system może być alternatywą dla tradycyjnego sposobu projektowania, ponieważ pozwala zaoszczędzić czas i zmniejszyć koszty budowy prototypu.

## Literatura

1. Górski F., Hamrol A., Grajewski D., Zawadzki P.,: "Integracja technik wirtualnej rzeczywistości i wytwarzania przyrostowego", *Mechanik* nr 3/2013 i 4/2013
2. Grajewski D., Górski F., Zawadzki P., Hamrol A.,: "Application of Virtual Reality Techniques in Design of Ergonomic Manufacturing Workplaces", 2013 International Conference on Virtual and Augmented Reality in Education Volume: 25; 2013, p. 289-301
3. Zawadzki P., Górski F., Kowalski M., Paszkiewicz R., Hamrol A.,: "System for 3D models and technology process design", *Famena*, issue 2, volume 35, 2011
4. Zawadzki P.,: "Automatyzacja projektowania wyrobów wariantowych z zastosowaniem technik opartych na wiedzy", *Inżynieria Maszyn*, rocznik 18, zeszyt 1/2013, str. 30-39
5. Skarka W., : "Metodologia procesu projektowo – konstrukcyjnego opartego na wiedzy", Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007
6. Pokojski J.,: "Systemy doradcze w projektowaniu maszyn", Wydawnictwo WNT, 2005

7. Ong S.K., Nee A.Y.C.: "Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing", London, 2004, Springer Science & Business Media
8. Pająk E., Górski F., Wichniarek R., Dudziak A.: "Techniki przyrostowe i wirtualna rzeczywistość w procesach przygotowania produkcji", Politechnika Poznańska, Poznań 2011
9. Konieczny R., Kasica M., Kowalski M.: "Virtual reality techniques for visualization of the work stand environment conditions", Virtual Design and Automation (praca zbiorowa pod red. Z. Weiss), Poznań 2008, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej
10. Górski F., Buń P., Wichniarek R., Zawadzki P., Hamrol A.: "Immersive City Bus Configuration System for Marketing and Sales Education", Procedia Computer Science, Volume 75, 2015, Pages 137–146
11. Skarka W.: "Podstawy budowy modeli autogenerujących", Wydawnictwo Helion, 2009
12. Reddy E.J., Sridhar C.N.V., Rangadu V.P., : "Knowledge Based Engineering: Notion, Approaches and Future Trends", American Journal of Intelligent Systems 2015, 5(1): 1-17
13. Verhagen W. J.C., Bermell-Garcia P., Reinier Van Dijk E.C., Curran R.: "A critical review of Knowledge-Based Engineering: An identification of research challenges", Advanced Engineering Informatics 26, 2012, str. 5–15
14. Tarkian M.: "Design Reuse and Automation", LiU-Tryck, Linköping 2009
15. Rabinek M.: "Automatyzacja projektowania wielowariantowych kolekcji mebli skrzyniowych", (praca dyplomowa) Politechnika Poznańska 2015

Mgr inż. Przemysław ZAWADZKI

Dr inż. Filip GÓRSKI

Mgr inż. Paweł BUŃ

Prof. dr hab. inż. Adam HAMROL

Mgr inż. Wiesław KUCZKO

Dr inż. Radosław WICHNIAREK

Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji

Politechnika Poznańska

60-965 Poznań, Pl. M. Skłodowskiej Curie 5

tel./fax: (0-61) 665 27 08/(0-61) 665 27 74

e-mail: Przemyslaw.Zawadzki@put.poznan.pl

Filip.Gorski@put.poznan.pl

Pawel.Bun@put.poznan.pl

Adam.Hamrol@put.poznan.pl

Wieslaw.Kuczko@put.poznan.pl

Radoslaw.Wichniarek@put.poznan.pl