

BUDOWA WIZUALNEGO KONFIGURATORA POJAZDÓW Z UŻYCIEM INŻYNIERII WIEDZY

Filip GÓRSKI, Radosław WICHNIAREK, Przemysław ZAWADZKI,
Paweł BUŃ, Michał RABINEK

Streszczenie: Artykuł prezentuje metodykę budowy interaktywnego, wizualnego konfiguratora pojazdów opartego o techniki rzeczywistości wirtualnej (Virtual Reality), przeznaczonego do wspomagania procesów decyzyjnych w procesie projektowania wybranego wariantu. Zaprezentowano metodykę budowy rozwiązania opartą o dostępne i dedykowane rozwiązania oraz techniki inżynierii wiedzy (Knowledge-Based Engineering), w tym głównie metodykę MOKA. Opracowane rozwiązanie umożliwiło budowę konfiguratora pojazdu wojskowego typu HMMWV w stosunkowo krótkim czasie. Aplikacja została zaprezentowana potencjalnym odbiorcom i uzyskała od nich pozytywną opinię.

Słowa kluczowe: projektowanie, wirtualna rzeczywistość, inżynieria wiedzy, konfiguracja pojazdów

1. Wprowadzenie

Systemy rzeczywistości wirtualnej (ang. Virtual Reality, VR) umożliwiają użytkownikom eksplorowanie cyfrowo wykreowanych, trójwymiarowych środowisk i interakcję z ich elementami w czasie rzeczywistym [1, 2]. W ciągu ostatnich dwóch dekad, środowiska VR rozwinęły się od prostych aplikacji z nieskomplikowaną grafiką do zaawansowanych logicznie i wizualnie systemów [2]. Umożliwiają one prowadzenie edukacji inżynierskiej [2, 3], tradycyjnej [2, 4] lub szkoleń medycznych [5, 6]. Można ich także używać do wspomagania procesów projektowania [7, 8], symulowania działania maszyn i urządzeń [9] czy wspomagania decyzji w procesach inżynierskich [10, 11].

Zastosowanie wizualizacji i interakcji w rzeczywistości wirtualnej jest coraz szerzej rozpowszechnione – wiele przedsiębiorstw buduje swoje własne centra rzeczywistości wirtualnej, współpracujące z centrami badawczo-rozwojowymi [12]. Producenci pojazdów skupiają swoje zainteresowanie głównie na fazie projektowania i wirtualnego prototypowania nowych wyrobów [13, 14] lub nowych wariantów istniejących wyrobów. Prototypowanie wirtualne pozwala na eliminację błędów powstających podczas projektowania, jak również szybsze i mniej kosztowne przygotowanie nowego produktu spełniającego wymagania klientów [13, 14].

Techniki VR mają szerokie zastosowanie w procesach projektowania nowych wariantów istniejących wyrobów. Wizualne konfiguratory wyrobów należą do najczęściej stosowanych interaktywnych aplikacji 3D obecnych w przemyśle. Pozwalają one inżynierowi czy też sprzedawcy na wybór i wizualizację wybranych cech nowego wariantu danego wyrobu, bardzo często we współpracy z przyszłym odbiorcą [15, 16]. Mają one wiele zastosowań, szczególnie w przemyśle motoryzacyjnym. Pojazdy przeznaczone do przewozu osób, mienia lub specjalnego sprzętu (np. pojazdy wojskowe) charakteryzują się bardzo dużą zmiennością cech konstrukcyjnych i wizualnych w obrębie jednej rodziny

wyrobów. Potencjalnym klientom nieraz trudno jest wyobrazić sobie, jak wyglądać będzie dany wariant już po jego zbudowaniu, a tradycyjne metody prezentacji oparte o katalogi podzespołów oraz próbki materiałów bywają zawodne. Przygotowanie wizualizacji jest z reguły procesem czasochłonnym, natomiast budowanie prototypów fizycznych jest w takiej sytuacji nieopłacalne. Stąd szczególna przydatność wyspecjalizowanych konfiguratorów wizualnych.

Konfiguratory tego rodzaju dostępne dla użytkowników końcowych wspomagają podejmowanie decyzji podczas fazy projektowania nowego wariantu danego wyrobu. W ten sposób ułatwiają realizację strategii, znanej w literaturze pod nazwą masowej kustomizacji (ang. mass customization, MC) [17]. Strategia MC łączy zalety produkcji jednostkowej z masową [16, 18] i jest szczególnie ważna w kontekście wizji Przemysłu 4.0 (ang. Industry 4.0) [16]. Konfiguratory wizualne mogą tutaj spełniać funkcję interfejsu pomiędzy zautomatyzowanym systemem wytwórczym a klientem przedsiębiorstwa.

Wizualne konfiguratory wyrobów wariantowych oparte m. in. o techniki VR mają ogólnie pozytywny wpływ na jakość uzyskiwanych wyrobów [15]. Pojawiającym się często problemem jest czasochłonność ich budowania oraz wysokie kwalifikacje programistyczne i graficzne wymagane do ich wdrożenia – kwalifikacje tego rodzaju nie zawsze są dostępne wewnątrz przedsiębiorstw produkcyjnych z branży motoryzacyjnej. Niekiedy ramy czasowe budowy i wdrożenia konfiguratora przekraczają czas życia danej rodziny wyrobów, co limituje zastosowanie tej klasy rozwiązań. Możliwym do zastosowania rozwiązaniem w celu skrócenia budowy tego rodzaju systemów jest użycie technik inżynierii wiedzy (ang. Knowledge-Based Engineering, KBE), w tym dostępnych metodyk budowania systemów informatycznych, wykorzystujących wiedzę przedsiębiorstwa, np. MOKA (ang. Methodology and tools Oriented to Knowledge-based engineering Applications) [19].

Artykuł prezentuje proces budowy rozwiązania, przeznaczonego do konfiguracji pojazdu wojskowego typu HMMWV (ang. High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle). Celem prac było zbadanie, czy jest możliwe zbudowanie w pełni funkcjonalnego konfiguratora przez zespół o kwalifikacjach czysto inżynierskich, bazując wyłącznie na ogólnodostępnej wiedzy o produkcie i w jakim czasie uda się tego dokonać przy wspomaganie za pomocą metodyki MOKA. W końcowym etapie prac konfigurator zaprezentowano potencjalnym odbiorcom i zebrano ich opinie.

2. Metodyka postępowania

2.1. Cel prac i ogólna metodyka

Celem prac zaprezentowanych w artykule było utworzenie w możliwie jak najkrótszym czasie wizualnego konfiguratora pojazdu wojskowego marki HMMWV, przeznaczonego do wirtualnego prototypowania poszczególnych wariantów pojazdu i wspomaganie decyzji podczas tego procesu. Aplikację utworzono częściowo opierając się na metodyce MOKA, używanej do tworzenia rozwiązań z zakresu KBE [19]. Metodyka ta zakłada podział prac związanych z budową systemu KBE na 6 podstawowych etapów:

1. Identyfikacja – cele i zakres rozwiązania.
2. Uzasadnienie – określenie zasobów, kosztów i ryzyka.
3. Akwizycja wiedzy – zebranie wiedzy i jej zapis nieformalny.
4. Formalizacja wiedzy – przetworzenie jej na formę zrozumiałą przez system komputerowy.

5. Implementacja – przygotowanie i testy rozwiązania informatycznego.

6. Uruchomienie systemu w środowisku docelowym.

W etapie 1 zdefiniowano cele i założenia. Wybrano popularny model pojazdu wojskowego HMMWV (rys. 1), wytwarzany przez firmę AM General [20]. Wybór pojazdu podyktowany był jego cechami charakterystycznymi – jest to bardzo popularny model, który do roku 2013 wyprodukowany został w ponad 281 tys. sztuk [21]. Duża liczba wariantów wynikająca z modularnej konstrukcji uzasadnia budowę konfiguratora wizualnego (takie rozwiązanie nie jest komercyjnie dostępne dla tego pojazdu), natomiast popularność pojazdu pozwala na łatwe zebranie dotyczącej go wiedzy. Poczyniono następujące założenia:

1. Pełen proces konfiguracji z uwzględnieniem wszystkich najważniejszych elementów budowy i wyposażenia pojazdu oraz logiki rządzącej wzajemną selekcją podzespołów i części.
2. Minimalizacja czasu przygotowania rozwiązania poprzez użycie istniejącego rozwiązania ramowego do projektowania pojazdów w VR – systemu Virtual Design Studio (VDS, rys. 2).
3. Minimalizacja czasu przygotowania danych poprzez przygotowanie modeli CAD i tekstur w sposób uproszczony na bazie ogólnodostępnych specyfikacji technicznych oraz zdjęć.
4. Minimalizacja czasu przygotowania interfejsu użytkownika poprzez zastosowanie mechanizmu dostępnego w systemie VDS – uproszczonego interfejsu opartego o technologię PHP.
5. Utworzenie gotowego rozwiązania i jego przetestowanie oraz prezentacja dla potencjalnych odbiorców docelowych, zebranie opinii.

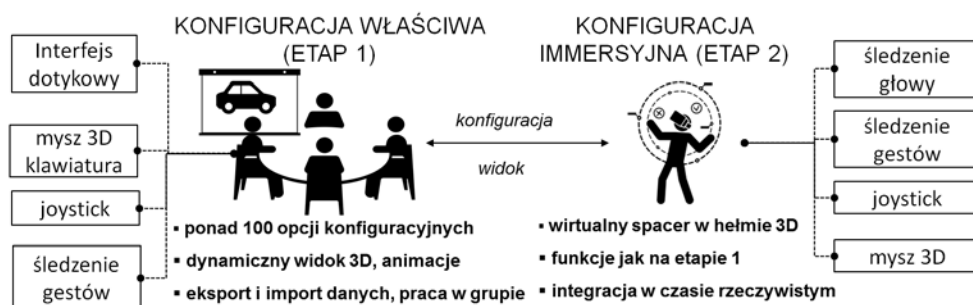


Rys. 1. Pojazd HMMWV [20]

System Virtual Design Studio jest już istniejącym rozwiązaniem ramowym, wdrożonym w konkretnym przedsiębiorstwie, przygotowanym przez zespół badawczy, do którego należą autorzy. System VDS jest prototypowym, unikalnym rozwiązaniem, wykorzystującym techniki VR do wspomagania konfiguracji pojazdów (rys. 3). Narzędzie to jest oparte o silnik EON Studio i wspomaga ono komunikację między przedsiębiorstwem a klientem, pozwalając na uniknięcie problemów i pomyłek związanych z doбором wariantu wyrobu w sposób tradycyjny, bez wizualizacji przyszłego wyrobu na każdym etapie prac związanych z doбором jego cech funkcjonalnych i wizualnych. System VDS

pozwała na przechowywanie wizualnej i logicznej, ustrukturyzowanej wiedzy o danym produkcie (pojeździe) oraz jej przetwarzanie, udostępnianie i uzupełnianie przez użytkowników w celu wspomagania prac inżynierskich w przedsiębiorstwie, może być zatem sklasyfikowany jako system oparty na wiedzy (ang. Knowledge-Based System, KBS), ułatwiający podejmowanie decyzji. System pozwala m. in. na pełną konfigurację wizualną pojazdu, wyświetlanie informacji multimedialnych i technicznych (eksplorację wybranego pojazdu), jak również łatwy import i eksport zapisanych wariantów, w celu przyspieszenia generowania dokumentacji oraz archiwizowania historii powstających kontraktów.

Nowy konfigurator pojazdu został zbudowany jako oddzielny moduł systemu VDS, wyłącznie w środowisku testowym przeznaczonym do badań. Do tego celu zastosowano już istniejące, dedykowane narzędzia do edycji i dodawania nowych treści – program VDS Admin oraz dostępne komercyjnie oprogramowanie do modelowania 3D wraz z odpowiednimi dodatkami (wtyczkami).



Rys. 2. Główne cechy systemu Virtual Design Studio



Rys. 3. Użytkownik korzystający z systemu VDS na etapie konfiguracji immersyjnej

Zebranie założeń zakończyło etap 1. Na etapie 2 oceniono potencjalne ryzyko, koszty oraz zasoby. Praca została podjęta przez zespół naukowy w celu przeprowadzenia badań własnych w zakresie zastosowania VR w projektowaniu. Zaproponowano zespół dwuosobowy. Pierwszym członkiem zespołu był główny inżynier-konstruktor, dysponujący kompetencjami w zakresie modelowania CAD, modelowania graficznego jak również

wiedzą na temat inżynierii pojazdów i wiedzą ogólną na temat wybranego produktu. Główny inżynier nie dysponował znajomością systemów VR, jak również umiejętnościami programistycznymi i nie miał wcześniej do czynienia z systemem VDS. Uzupełnieniem zespołu był naukowiec z zespołu badawczego, który brał udział w pracach nad utworzeniem systemu VDS, jego rolą była weryfikacja etapu zebrania i formalizacji wiedzy, jak również przekazanie informacji na temat sposobów formalizacji wiedzy i dodawania treści do systemu VDS.

Z racji tak poczynionych założeń, na etapie 2 oceniono ryzyko jako minimalne. Czas przygotowania gotowego rozwiązania przewidziano na 3 miesiące, jego koszt można estymować wyłącznie jako ekwiwalent czasu pracy członków zespołu (nie było wymagane poniesienie żadnych innych kosztów).

2.2. Zakres konfiguracji wybranego pojazdu

Po zakończeniu etapu 2, podjęto prace związane z określeniem i zebraniem wiedzy niezbędnej do zbudowania rozwiązania. Elementy wnętrza i zewnątrz pojazdu występują w różnych wersjach, przy czym największa zmienność dotyczy komponentów nadwozia (drzwi, dach, tył) oraz elementów wyposażenia (uzbrojenie, światła, filtry itp.).

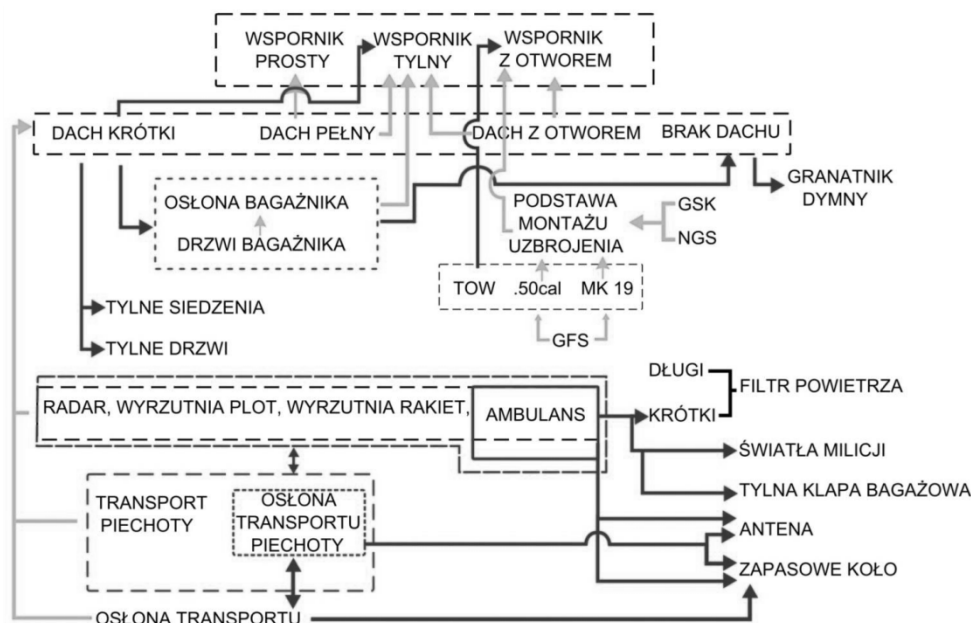
Zakres zmienności pojazdu został określony na podstawie analizy dokumentacji zdjęciowej i ogólnodostępnych specyfikacji istniejących, używanych już w praktyce pojazdów, jak również danych udostępnionych przez producenta [20]. W sposób ogólny można zdefiniować następujące możliwości konfiguracji:

- drzwi (liczba, rodzaj)
- dach (rodzaj, podparcie)
- uzbrojenie podstawowe (rodzaj uzbrojenia, osłony strzelca)
- tylna część pojazdu (bagażnik, cargo, transport piechoty itp.)
- wyposażenie specjalne (radar, wyrzutnia przeciwlotnicza, ambulans itp.)
- wyposażenie obowiązkowe (rodzaj filtra powietrza, rodzaj zderzaka itp.)
- wyposażenie dodatkowe (lampy, anteny, panel słoneczny itp.)
- maskowanie (malowanie leśne lub pustynne)

System VDS umożliwia zastosowanie opcji wielu rodzajów. Cztery podstawowe typy opcji to: zmiana komponentu (podmiana lub wyłączenie kompletnego modelu 3D), zmiana tekstury (zmiana wzoru 2D przy niezmiętej geometrii modelu 3D), zmiana koloru wybranej powierzchni lub zmiana rozkładu (zmiana pozycji przestrzennej bez zmiany geometrii modelu 3D). Zastosowano 2 podstawowe rodzaje opcji – przełączenie komponentu oraz zmianę tekstury. Łącznie uzyskano 26 opcji dostępnych dla użytkownika. Założono również możliwość dopisywania brakujących wariantów poprzez użycie funkcji tzw. notatek 3D (umieszczania trójwymiarowych znaczników w przestrzeni wokół pojazdu, z podłączonym do nich opisem wyjaśniającym co powinno się znaleźć w danym miejscu), dostępnej w systemie VDS.

Pomiędzy opcjami występuje szereg zależności logicznych, powiązanych z cechami geometrycznymi i funkcjonalnymi komponentów pojazdu. Zależności mogą mieć charakter wymuszeń („jeśli w opcji X wybrano wartość A, to w opcji Y musi być wybrana wartość B”) lub wykluczeń („jeśli w opcji X wybrano wartość B, to w opcji Y nie można wybrać wartości A”). Część z nich ma charakter oczywisty – np. nie można wybrać zabudowanego wariantu dachu, jeśli wybrano wcześniej uzbrojenie montowane we wsporniku dachu otwartego. Pozostałe wymagają wiedzy o uwarunkowaniach technicznych i funkcjonalnych

pojazdu. Wszystkie zależności zostały zebrane i opisane na etapie 3 w sposób nieformalny – ich schematyczne podsumowanie znajduje się na rys. 4.



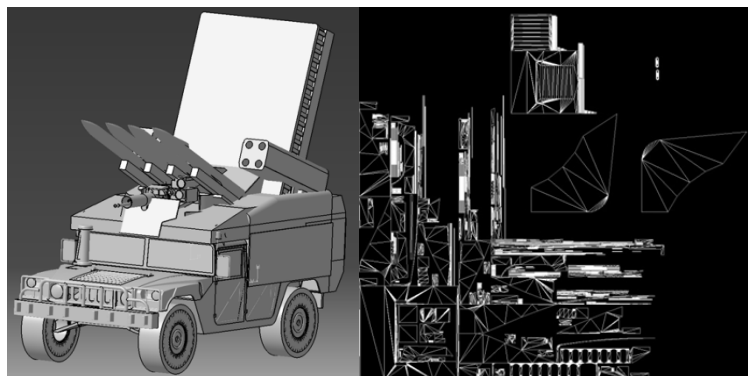
Rys. 4. Schemat zależności logicznych w konfiguratorze, na zielono – wymuszenia, na czerwono – wykluczenia między wartościami opcji

2.3. Zebranie danych 2D i 3D

Dane niezbędne do budowy konfiguratora można podzielić na: dane 3D, 2D oraz metadane. Dane 3D to przede wszystkim modele 3D pojazdu i elementów wyposażenia. Do danych 2D należą głównie tekstury, mające za zadanie zwiększenie realizmu wyświetlania powierzchni obiektu, jak również piktogramy (ikony) interfejsu użytkownika. Do tego rodzaju danych należy również zaliczyć informacje multimedialne (zdjęcia, filmy, dźwięki), również możliwe do wyświetlenia w konfiguratorze. Metadane z kolei w systemie VDS rozumiane są jako formalny zapis wiedzy niezbędnej do prawidłowego wyświetlania i działania konfiguratora pojazdu. Składają się na nie: formalny zapis struktury wizualizacyjnej (siatki 3D, materiały, tekstury, pozycje obiektów, definicje animacji), zakres konfiguracji (wykaz opcji i możliwych wartości oraz ich podłączenie do struktury wizualizacyjnej) i połączenia logiczne (wymuszenia i wykluczenia), jak również słowniki tłumaczące zakodowaną strukturę wizualizacji oraz opcji na konkretny język (polski lub angielski), do umieszczenia w generowanym z systemu raporcie PDF.

Dane 3D utworzono jako parametryczne modele bryłowe korzystając z systemu CAD – CATIA v5, na podstawie ogólnodostępnej dokumentacji płaskiej oraz zdjęciowej pojazdu. Następnie przeniesiono je do oprogramowania 3D Studio Max, gdzie geometria została skonwertowana do docelowej postaci, tj. siatki wielokątów (jest to standardowa forma, w jakiej wyświetlane są dane 3D w silnikach wizualizacyjnych i systemach VR), po czym nadano materiały i tekstury, aby uzyskać odpowiedni wygląd elementów pojazdu.

W środowisku 3DS Max zaplanowano również animacje pojazdu – otwieranie maski, otwieranie drzwi oraz klapy tylnej. Rys. 5 pokazuje surowy model parametryczny w systemie CATIA oraz przykład operacji mapowania tekstur maskowania pojazdu w środowisku 3DS Max. Po zakończeniu operacji zastosowano wtyczkę EON Raptor, co pozwoliło na wygenerowanie modeli w formacie odpowiednim dla systemu VDS (który bazuje na silniku EON Studio).



Rys. 5. Surowy model 3D pojazdu (po lewej), szablon mapowania tekstur (po prawej)

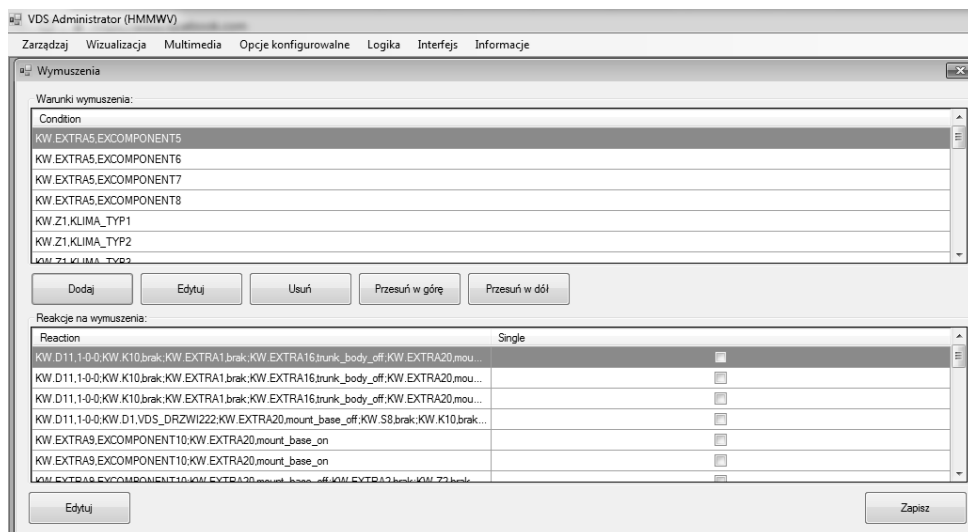
Dane 2D przygotowano używając programów do generowania i przeróbki grafiki rastrowej (m. in. Adobe Photoshop). Ikony interfejsu użytkownika przygotowano na podstawie grafik rastrowych wygenerowanych w programie 3DS Max (z użyciem funkcji tzw. renderowania).

2.4. Formalizacja wiedzy – przygotowanie konfiguratora

Dane 3D, dane 2D oraz zakres konfiguracji pojazdu zostały wprowadzone do systemu VDS z użyciem dedykowanego oprogramowania VDS Admin (rys. 6), które pozwala w łatwy sposób zaimportować dane do biblioteki systemu VDS, jak również wygenerować metadane dla konfiguratora wybranego pojazdu w języku zrozumiałym przez system. W ten sam sposób przygotowano również interfejs użytkownika, bazując na istniejącym mechanizmie opartym o technologię PHP.

Pierwszy etap prac w programie VDS Admin polega na przypisywaniu odpowiednich elementów struktury systemu VDS do elementów z biblioteki, aby uzyskać odpowiednią strukturę wizualizacyjną. Na tym etapie definiuje się również animacje (takie jak otwieranie drzwi czy klap), które generowane są z programu 3DS Max.

W kolejnym etapie prac w programie VDS Admin należy zdefiniować listę opcji, które będą używane w konfiguratorze oraz przypisać do nich konkretne wartości. W uzupełnieniu tej operacji należy podłączyć odpowiednie elementy struktury systemu VDS do konkretnych opcji – część połączeń między wizualizacją a wyborem opcji jest zdefiniowana na stałe, część należy redefiniować dla każdego nowego pojazdu. Ta część prac wymaga dogłębnej znajomości struktury systemu VDS i była w opisywanym przypadku najbardziej czasochłonna. Dodatkowo, należy zdefiniować logikę wykluczeń i wymuszeń (rys. 6), definiując wzajemnie się wykluczające czy wymuszające wartości konkretnych opcji – dokonuje się tego w specjalnym panelu programu VDS Admin.



Rys. 6. Praca w programie VDS Admin – definiowanie połączeń logicznych

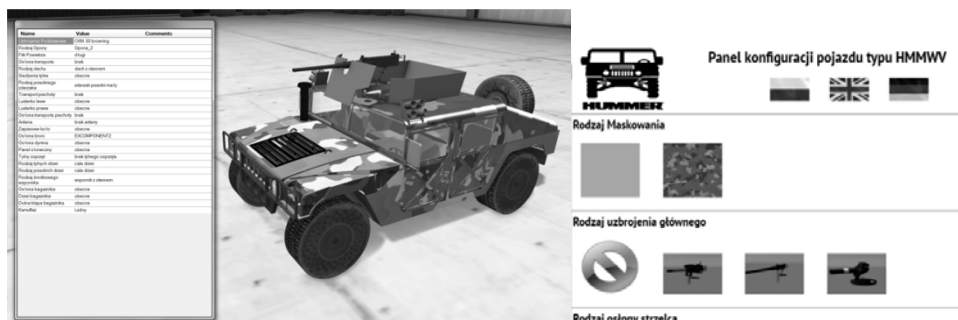
Ostatni etap prac w systemie VDS Admin to przygotowanie interfejsu użytkownika, tj. definicja opcji wyświetlanych dla użytkownika, jak również ich nazw oraz piktogramów konkretnych wartości. Część opcji ma charakter techniczny, pomocniczy i nie są one bezpośrednio wyświetlane do zmiany przez użytkownika – przykładem dla pojazdu HMMWV może być tekstura maskowania, którą zmienia się globalnie dla całego pojazdu. Dla użytkownika jest to jedna opcja z dwiema możliwymi wartościami: maskowanie leśne i pustynne. W systemie VDS zdefiniowanych opcji zmiany maskowania jest kilkanaście, z racji tego że maskowanie nakładane jest na różne, niepowiązane ze sobą fizycznie elementy pojazdu. Za pomocą definicji wymuszeń określono jedną z tych opcji jako dominującą i wyświetlaną użytkownikowi – wybór odpowiedniego maskowania skutkuje wymuszeniem takiego samego maskowania na wszystkich elementach pojazdu.

Efektem końcowym prac w programie VDS Admin jest w pełni sformalizowana wiedza dotycząca wizualizacji i logiki konfiguracji charakterystycznej dla danego pojazdu. Wiedza ta jest zapisana w postaci plików o odpowiedniej strukturze, z użyciem odpowiednich zapisów kodowanych w quasi-skryptowym języku zrozumiałym dla algorytmów zabudowanych w systemie VDS.

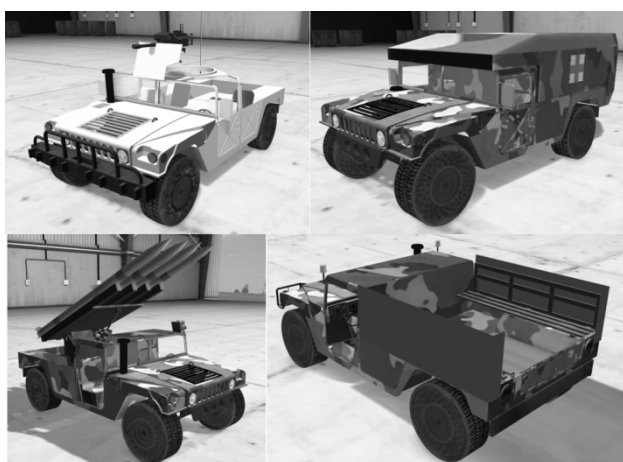
3. Wyniki i dyskusja

3.1. Efekt końcowy – konfigurator pojazdu HMMWV

Jako efekt końcowy formalizacji wiedzy i uruchomienia zbudowanego modułu systemu VDS uzyskano działający, w pełni funkcjonalny konfigurator pojazdu wojskowego. Rys. 7 przedstawia zrzut ekranu z konfiguratora oraz z interfejsu użytkownika, a rys. 8 – kilka przykładowych wariantów możliwych do wygenerowania.



Rys. 7. Konfigurator pojazdu HMMWV (po prawej) i interfejs użytkownika (po lewej)



Rys. 8. Przykładowe warianty pojazdu możliwe do wygenerowania w konfiguratorze

Konfigurator został przedstawiony potencjalnym odbiorcom (przedstawicielom firm zajmujących się wyposażeniem armii) i uzyskał pozytywny odbiór, zarówno w warstwie funkcjonalnej jak i wizualnej. Można zatem stwierdzić, że główny cel prac – przygotowanie w jak najkrótszym czasie funkcjonalnego rozwiązania do konfiguracji pojazdu przez osoby niedoświadczone w zakresie konfiguracji wizualnej i VR – został osiągnięty.

3.2. Podsumowanie czasochłonności budowy konfiguratora

Tabela 1 przedstawia czasochłonność poszczególnych etapów budowy konfiguratora, z perspektywy obu członków zespołu projektowego, z uwzględnieniem poszczególnych etapów prac. Warto zwrócić uwagę na szczególnie długi czas przygotowania danych 3D (tj. modelowania) – w warunkach przemysłowych, przy gotowych modelach CAD wybranego produktu dostępnych w bazach danych na życzenie ten czas mógłby zostać skrócony a operacja modelowania zredukowana do wyszukania odpowiednich plików. Z drugiej strony, przygotowywane w opisywanym przypadku modele 3D były od razu odpowiednio upraszczane. Dzięki temu nie była potrzebna optymalizacja wielkości siatek, która – jak wynika z doświadczenia autorów – jest etapem niezbędnym w przypadku korzystania z uszczegółowionych modeli CAD. Należy zatem przyjąć, że w warunkach dostępności

modeli, uzysk czasu byłby niewielki, bo geometrię każdego modelu należałoby w odpowiedni sposób zoptymalizować.

Stosunkowo długo trwała też formalizacja wiedzy (etap 4), głównie ze względu na konieczność zapoznania się niedoświadczonego głównego inżyniera z mechanizmami systemu VDS, co było zresztą jednym z założeń prezentowanego przypadku. Długość etapu 4 miała też związek z licznymi wzajemnymi ograniczeniami logicznymi różnych wariantów konfiguracji.

Tab. 1. Czasochłonność przygotowania konfiguratora

Etap	Czynność	Czas pracy głównego inżyniera (godziny robocze)	Czas pracy eksperta systemu VDS (godziny robocze)
1, 2	Identyfikacja, opis założeń, uzasadnienie	10	5
3	Modelowanie 3D w systemie CATIA v5	180	-
3	Przygotowanie danych 2D	12	-
3	Teksturowanie i animowanie w 3D Studio Max	15	-
4	Praca z systemem VDS (VDS Admin)	210	20
5, 6	Końcowa weryfikacja i poprawki	25	15
Suma:		452	40

4. Podsumowanie

Przeprowadzony przez autorów proces budowy konfiguratora pojazdu w środowisku VR z użyciem technik inżynierii wiedzy udowadnia, że z użyciem odpowiedniej metodyki można uzyskać funkcjonalne i wizualnie akceptowalne rozwiązanie w czasie ok. 3 miesięcy. W porównaniu z czasem rozwoju tego rodzaju rozwiązań przez działające na rynku wyspecjalizowane firmy, który (jak wynika z doświadczenia autorów) waha się od 6 miesięcy do 2 lat, realizacja projektu w 3 miesiące przez dwie osoby, w tym jednego niedoświadczonego inżyniera, jest znaczącym postępem w budowie tego rodzaju rozwiązań. Najważniejszym czynnikiem usprawniającym budowę przedstawionego rozwiązania było zastosowanie istniejącego, prototypowego systemu VDS – nakładki na silnik EON Studio – jak również odpowiednich narzędzi towarzyszących systemowi VDS, służących do dodawania treści i ustalania logiki konfiguracji bez konieczności programowania.

Najbardziej czasochłonnym etapem prac w przygotowaniu konfiguratorów wyrobów wariantowych jest zawsze akwizycja wiedzy i jej formalizacja. Na optymalizacji tych etapów powinny skupiać się dalsze prace badawcze w tym zakresie.

Rozwiązanie zaprezentowane w artykule jest obecnie testowane i oceniane pod kątem możliwości wdrożenia. Autorzy oceniają, że główną barierą rozwoju i implementacji tego rodzaju rozwiązań jest zawsze czynnik ludzki – brak standardów i scenariuszy użytkowania profesjonalnych konfiguratorów VR, zróżnicowane wymagania różnych działów przedsiębiorstwa, problemy techniczne z odpowiednim przygotowaniem i zaprezentowaniem rozwiązania klientowi, itp. W szerszym kontekście konieczne jest

zatem opracowanie standardów postępowania podczas budowy i wdrażania rozwiązań VR przeznaczonych do współpracy z klientem na etapie projektowania wyrobów wariantowych. Tego rodzaju standardy umożliwiłyby minimalizację czasu i kosztów, jak również zwiększenie elastyczności oferty przedsiębiorstwa i lepszą współpracę z klientami.

Literatura

1. Burdea G.C., Coiffet P.: *Virtual Reality Technology*. John Wiley & Sons, Inc. (2003).
2. Martín-Gutiérrez J., Mora E., Añorbe-Díaz B., González-Marrero A., *Virtual Technologies Trends in Education*, EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, Vol. 13, Iss. 2, pp. 469-486 (2017)
3. Grajewski D., Górski F., Zawadzki P., Hamrol A.: *Application of Virtual Reality Techniques in Design of Ergonomic Manufacturing Workplaces*. Procedia Computer Science, Vol. 25, pp. 289-301 (2013).
4. Sigitov A., Hinkenjann A., Roth T., *Towards VR-based Systems for School Experiments*, Procedia Computer Science, Vol. 25, pp. 201-210 (2013).
5. Buń P., Wichniarek R., Górski F., Grajewski D., Zawadzki P., *Possibilities and Determinants of Using Low-Cost Devices in Virtual Education Applications*, EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, Vol. 13, Iss. 2, pp. 395-416 (2017), DOI: 10.12973/eurasia.2017.00623a
6. Vankipuram A., Khanal P., Ashby A., Vankipuram M., Gupta A., Drumm Gurnee D., Josey K., Smith M., *Design and Development of a Virtual Reality Simulator for Advanced Cardiac Life Support Training*, Journal of Biomedical and Health Informatics, IEEE, Vol. 18, no. 4, pp. 1478-1484, 2014.
7. Ye J., Badiyani S., Raja V., Schlegel T., *Applications of virtual reality in product design evaluation*. In: 12th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 2007), Beijing, China, 22-27 Jul 2007. Published in: HCI'07 Proceedings of the 12th international conference on Human-computer interaction: applications and services, Volume 4553 (Part 4). pp. 1190-1199 (2007)
8. Jezernik, A. & Hren, G. *A solution to integrate computer-aided design (CAD) and virtual reality (VR) databases in design and manufacturing processes*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 22, Iss. 11, pp. 768-774 (2003). DOI: 10.1007/s00170-003-1604-3
9. Pandilov, Z., Milecki A., Nowak A., Górski F., Grajewski D., Ciglar D., Mulc T., Klaić M.: *Virtual Modelling And Simulation Of A CNC Machine Feed Drive System*. Transactions of FAMENA, Vol. 39 Iss. 4, pp. 37-54 (2015).
10. Colombo S., Nazir S., Manca D., *Immersive Virtual Reality for Training and Decision Making: Preliminary Results of Experiments Performed With a Plant Simulator*, SPE Economics & Management, Vol. 6, Iss. 4 (2014), DOI: 10.2118/164993-PA
11. Trojanowska J., Karwasz A., Machado J., Varela M.L.R., *Virtual Reality Based Ecodesign* In: Golinska-Dawson P., Kolinski A. (eds), *Efficiency in Sustainable Supply Chain, Part II*, Springer International Publishing, pp. 119-135 (2017), DOI 10.1007/978-3-319-46451-0_8
12. Zimmermann P.: *Virtual Reality Aided Design. A survey of the use of VR in automotive industry*. In: Talaba D, Amditis A. *Product Engineering*. Springer Netherlands, pp. 277-296 (2008).
13. Górski F., Buń P., Wichniarek R., Zawadzki P., Hamrol A.: *Immersive City Bus Configuration System for Marketing and Sales Education*. Procedia Computer Science, Vol. 75, pp. 137-146 (2015).

14. Ryan, R., Digital testing in the context of digital engineering - Functional Virtual Prototyping, Mechanical Dynamics, Inc., Michigan, USA, 1999.
15. Trentin A., Perin E., Forza C.: Product configurator impact on product quality. International Journal of Production Economics, Vol. 135, Iss. 2, pp. 850-859 (2012).
16. Zawadzki P, Żywicki K.: Smart Product Design and Production Control for Effective Mass Customization in the Industry 4.0 Concept, Management and Production Engineering Review, Vol. 7, Iss. 3, pp.105-112 (2016)
17. Liechty, J., Ramaswamy, V., Cohen, S.H.: Choice menus for mass customization: an experimental approach for analyzing customer demand with an application to a web-based information service. Journal of Marketing Research, Vol. 38, Iss. 2, pp. 183-196 (2001).
18. Fogliatto F.S., da Silveira G.J., Borenstein D., The mass customization decade: An updated review of the literature, International Journal of Production Economics, Vol. 138, Iss. 1, pp. 14-25 (2012).
19. Stokes M., (2001). Managing Engineering Knowledge; MOKA: Methodology for Knowledge Based Engineering Applications, Professional Engineering Publishing, London 2001.
20. <http://www.amgeneral.com/hmmwv/>, [Online]. Data uzyskania dostępu: 21 wrzesień 2016.
21. U.S. Coast Guard, „Military.com,” 15 sierpień 2013. [Online]. <http://www.military.com/daily-news/2013/08/15/humvee-symbolizes-coast-guards-role-in-war.html?comp=7000023468292&rank=3>. Data uzyskania dostępu: 21 wrzesień 2016.

Dr inż. Filip GÓRSKI

Dr inż. Radosław WICHNIAREK

Dr inż. Przemysław ZAWADZKI

Mgr inż. Paweł BUŃ

Mgr inż. Michał RABINEK

Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji

Politechnika Poznańska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania

60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3

tel./fax: (0-61) 665 2708

e-mail: filip.gorski@put.poznan.pl

radoslaw.wichniarek@put.poznan.pl

przemyslaw.zawadzki@put.poznan.pl

pawel.bun@put.poznan.pl

michal.rabinek@student.put.poznan.pl