

Stanisław **TOMASZEWSKI**
Łukasz **RADWAN**
Marek Ł. **GRABANIA**

SYSTEM PROJEKCJI CAVE 3D W PROCESIE PROJEKTOWANIA WYROBU

Streszczenie. W artykule przedstawiono zmiany zachodzące na przestrzeni lat w organizacji wytwarzania dokumentacji technicznej oraz konstrukcyjnej. Omówiono wdrożony w OBRUM sp. z o.o. nowoczesny system projekcji CAVE 3D wspomagający procesy projektowania. Opisano zasadę działania systemu, jego charakterystyczne cechy i ograniczenia. W podsumowaniu uwypuklono zalety systemu pozwalające na eliminację błędów oraz bezpośredni kontakt z klientem na etapie tworzenia projektu koncepcyjnego urządzenia czy projektu wyrobu przedkładanego do akceptacji.

Słowa kluczowe: projektowanie, konstruowanie, wirtualne prototypowanie, projektowanie 3D, system projekcji CAVE 3D, dokumentacja techniczna, dokumentacja konstrukcyjna.

1. WPROWADZENIE

Celem, jaki zawsze stawiano przed OBRUM sp. z o.o. było prowadzenie kompleksowych prac naukowo-badawczych i badawczo-rozwojowych, zmierzających do przygotowania i podjęcia produkcji na skalę przemysłową nowych lub zmodernizowanych wyrobów. Cel ten pozostaje aktualny i Ośrodek aktywnie uczestniczy w procesie modernizacji technicznej Sił Zbrojnych RP.

Zmiany jakim poddawany był Ośrodek na przestrzeni lat: charakteru firmy i przekształceń własnościowych (od zakładu produkcji doświadczalnej do spółki prawa handlowego skupionej obecnie w Polskiej Grupie Zbrojeniowej) wymagały od Zarządów podejmowania działań organizacyjno-technicznych mających na celu osiągnięcie jak najlepszych wyników. Oczekiwano tworzenia nowoczesnych konstrukcji o cechach konkurencyjnych na rynkach polskim i zagranicznych przy optymalizacji nakładów finansowych na badania i rozwój. Realizacja prac z tym związanych została uregulowana w dokumencie Ministerstwa Obrony Narodowej i jest nią Decyzja nr 72/MON [1].

W procesach tworzenia wyrobu w pełnym cyklu realizacji, poczynając od koncepcji rozwiązania poprzez analizy naukowe, prace projektowe, prace konstrukcyjne i badawczo-rozwojowe, aż do wdrożenia wyników prac zwieńczonych produkcją seryjną jednymi z najważniejszych elementów prac są procesy opracowania i weryfikacji dokumentacji technicznej wyrobu. Całość wymagań i tryb postępowania na poszczególnych etapach tworzenia wyrobu nowego bądź modernizowanego w zakresie tworzenia dokumentacji opisuje Decyzja nr 349/MON [2].

W schematach organizacyjnych OBRUM sp. z o.o. zawsze funkcjonowała komórka odpowiedzialna za ten zakres prac. Jej struktura, jak i nazwa również przechodziły zmiany organizacyjne. Były to między innymi: Zakład Studiów, Dział Konstrukcyjny, Zakład Konstrukcji, a obecnie Biuro Konstrukcji [3], [4].

W trakcie wieloletniej, ponad 50-letniej działalności badawczo-rozwojowej Ośrodka zmieniały się metody projektowania i dostępne narzędzia. Skokiem zarówno jakościowym, jak i ilościowym w pracy konstruktora/projektanta Ośrodka było pojawienie się technik komputerowych wspomagających procesy konstruowania. W OBRUM sp. z o.o. techniki komputerowe były sukcesywnie wprowadzane począwszy od początku lat 90. ubiegłego wieku. Zmiany [5] jakie nastąpiły na przestrzeni lat w technikach projektowania – od pracy na desce kreślarskiej (z wykorzystaniem przybornika kreślarskiego i wykonywania dokumentacji wykreślonej tuszem na kalce technicznej), do współczesnego wykonywania projektów urządzeń są ogromne.

Przez lata funkcjonowania komórki odpowiedzialnej za procesy projektowania i konstruowania zachodziły również głębokie zmiany organizacyjne wynikające pośrednio z istniejących narzędzi, w tym dostępnego oprogramowania – programów komputerowych pozwalających na wirtualne prototypowanie w przestrzeni trójwymiarowej 3D [6], [7].

2. KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PRAC PROJEKTOWYCH

W procesie projektowania jednym z kluczowych elementów cyklu jest opracowanie projektu koncepcyjnego lub projektu wstępnego, często w wielu wariantach rozwiązania umożliwiającego analizę techniczną zgodną z przedłożonymi wymaganiami lub Załoženiami Techniczno-Taktycznymi. Bardzo ważna jest na tym etapie weryfikacja projektu mająca na celu przede wszystkim wykrycie i zminimalizowanie możliwych błędów. Ważnym elementem tych prac jest też komunikacja z klientem/zamawiającym pozwalająca na weryfikację wymagań i oczekiwań oraz dokonanie uzgodnień już na wstępnym etapie projektowania.

Dostępność nowoczesnych narzędzi informatycznych w OBRUM sp. z o.o. pozwala na wirtualne prototypowanie – komputerowe modelowanie części i podzespołów w przestrzeni 3D. Daje to możliwość już na tym etapie zweryfikowanie wzajemnych zależności funkcjonalnych i wstępną eliminację ewentualnych błędów. Proces kontroli i weryfikacji wytwarzanej dokumentacji jest wieloetapowy i kończy się na etapie wykonywania docelowej dokumentacji „płaskiej” w 2D.

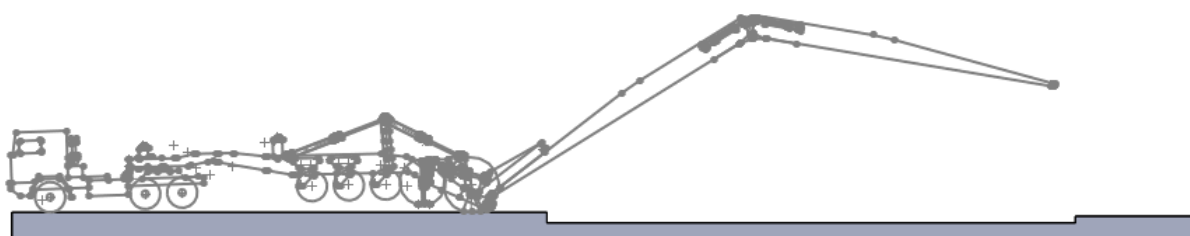
W Ośrodku do opracowania i wytworzenia dokumentacji konstrukcyjnej stosowane jest przede wszystkim oprogramowanie Solid Works 3D. Narzędzie to [6] pozwala na zaawansowane tworzenie części, łącząc modelowanie bryłowe i powierzchniowe w jednym środowisku. Do tworzenia części wykorzystuje się różne operacje dostępne w systemie, między innymi:

- wyciąganie konturu;
- obrót konturu;
- wyciąganie przez wiele konturów;
- wycinanie w bryle przez wyciąganie konturu;
- zaokrąglanie krawędzi brył;
- fazowanie;
- nadawanie grubości powierzchniom.

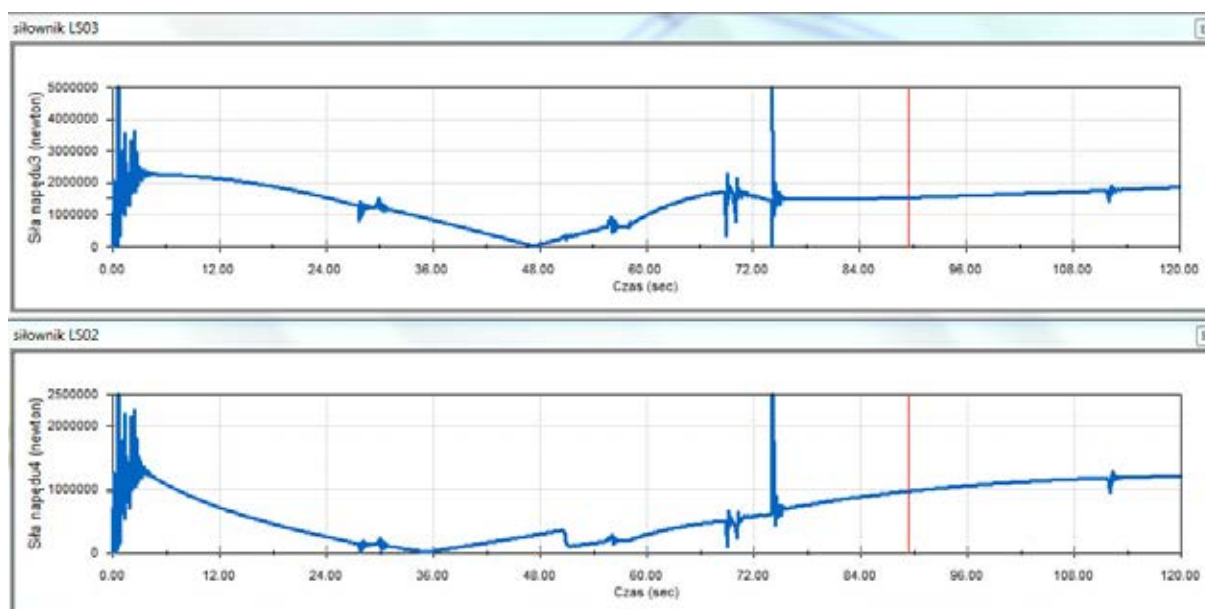
2.1. Weryfikacja dokumentacji projektowej

W trakcie wykonywania modelu części, automatycznie tworzona jest lista operacji, jaka została użyta do wykonania części. W każdej z tych operacji można dokonywać zmian poprzez edycję konturu, z którego powstała, jak i zmian w samej operacji przez zmianę jej parametrów. Każdej części nadawana jest automatycznie masa, własności materiału i można wstawić tą część do różnych projektowanych zespołów. W zespołach tworzonych z zaprojektowanych części automatycznie korygowana jest masa i momenty bezwładności

Już na etapie szkiców (projektów wstępnych) przedstawiających zespół można dokonywać analiz ruchu i określać obciążenia dla poszczególnych podzespołów. Rysunek 1 przedstawia model funkcjonalny złożonego urządzenia (mostu samochodowego w postaci szkicu), gdzie przeprowadzono analizę ruchu podczas jego rozkładania. Poszczególnym elementom w postaci szkicu nadano przybliżone masy i w miarę możliwości momenty bezwładności. W czasie analizy obliczono siły w siłownikach oraz naciski na grunt przez pierwsze koło ciągnika i podporę. Pozwoliło to określić czy cały zespół nie straci stateczności w czasie jego rozkładania. Graficzne zobrazowanie powstających sił znajduje się na rys. 2.



Rys. 1. Rozkładanie mostu



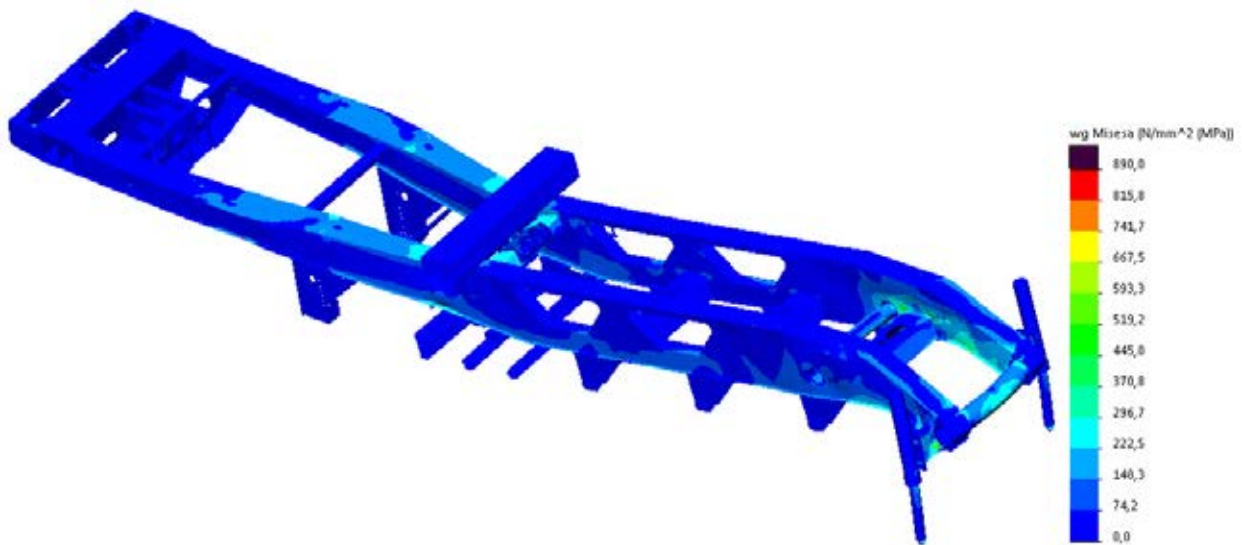
Rys. 2. Przykładowe wykresy powstałe w czasie zrealizowanych analiz

Po opracowaniu wszystkich elementów urządzenia w postaci modeli 3D można wykonać pełną analizę ruchu urządzenia, wykorzystując posiadane informacje o masie zespołów i momentach ich bezwładności. W czasie pełnej analizy można wykryć kolizje

występujące między różnymi zespołami w ruchu. Prowadzi to do eliminacji możliwych do wystąpienia błędów (kolizji) już na etapie projektowania.

Z procesu symulacji ruchu zespołu lub urządzenia można przenieść poszczególne części do oprogramowania Solid Works Simulation i dokonać analizy wytrzymałościowej tych części. Takie postępowanie zapewnia poprawną pracę zespołów w czasie eksploatacji urządzenia. Narzędziem wspomagającym procesy obliczeniowe, wykorzystującym technologię elementów skończonych (MES), jest moduł zawarty w pakiecie oprogramowania PREMIUM [6].

Na rys. 3 przedstawiono wyniki obliczeń MES ramy pojazdu układającego most przedstawionego powyżej (rys. 1).



Rys. 3. Rozkład naprężeń zredukowanych w ramie wg hipotezy Hubera-Misesa

Po wykonaniu pełnego modelu projektu generowana jest dokumentacja płaska 2D wszystkich części i zespołów. Przy generowaniu takiej dokumentacji wszystkie rysunki mają jednakowy styl wymiarowania, grubości linii i oznaczeń przekroi i widoków w zależności od ustawienia szablonów dokumentacji płaskiej. Automatycznie tworzone są listy materiałów, z uwzględnieniem ilości sztuk i potrzebnego materiału na wykonanie poszczególnych części.

Opracowana dokumentacja konstrukcyjna zostaje następnie zweryfikowana w przestrzeni wirtualnej. Posiadanie poprawnych baz elementów normowych pozwala na przeprowadzenie kompleksowej weryfikacji zespołów i części. Dzięki temu następuje kolejny etap weryfikacji minimalizujący błędy konstruktora/projektanta. Ten etap prac ma zasadniczy wpływ na koszty eliminacji pomyłek w fazie wykonywania wyrobu w metalu.

W dalszej fazie rozwoju konstrukcji po wykonaniu w metalu, wyrób/wyroby poddawane są badaniom stanowiskowym i zakładowym. Ostatnim elementem weryfikującym opracowany wyrób są badania kwalifikacyjne, wykonywane i przeprowadzane pod nadzorem przedstawicieli powoływanej państwowej komisji. Wyniki (uwagi, wnioski, zalecenia) z wszystkich badań znajdują odbicie w postaci koniecznej weryfikacji powstałej dokumentacji projektowej po każdym etapie badań.

Opisaną metodologię weryfikacji dokumentacji projektowej stosowaną w bieżącej działalności OBRUM sp. z o.o. możemy uznać za „klasyczny” tryb postępowania.

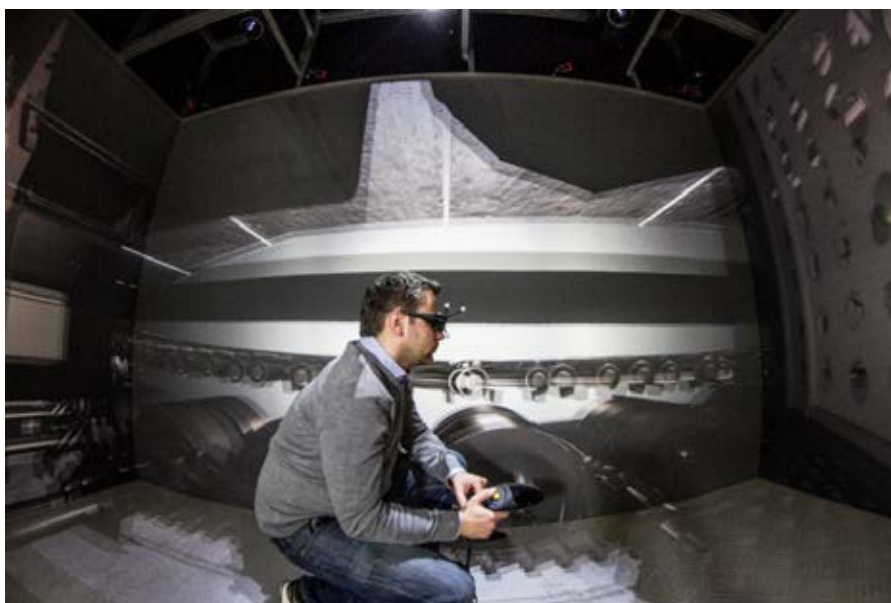
3. SYSTEM PROJEKCJI CAVE 3D

Gwałtowny rozwój w ostatnim 10-leciu informatyki i urządzeń do projekcji obrazu (rzutniki, projektory 3D, monitory, ekrany projekcyjne) spowodował pojawienie się na rynku dużej ilości innowacyjnych urządzeń i systemów do projekcji obrazu zarówno na płaszczyźnie, jak też w przestrzeni 3D.

Zakres wykorzystania nowoczesnych systemów jest bardzo szeroki – od zastosowań komercyjnych (np. wizualizacji produktów z prezentacją ich funkcji, organizacji kina domowego) do zastosowań militarnych (złożone symulatory do szkolenia załóg samolotów, pojazdów czy ćwiczeń żołnierzy i służb mundurowych w wirtualnej rzeczywistości). Jednymi z najciekawszych rozwiązań wykorzystujących wielokanałową projekcję przestrzenną 3D są systemy CAVE 3D [8], [9], [10], [11].

3.1. Zasada działania systemu

System CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) to wielościanowy system stereoskopowego wyświetlania obrazów o wysokiej rozdzielczości wyposażony w kontroler do nawigacji w przestrzeni 3D i zintegrowany system śledzenia ruchu oraz gestów użytkownika [11]. Przykładowe obrazy wyświetlane w „jaskini” pokazuje rys. 1.



Rys. 4. Obraz wyświetlany w systemie CAVE 3D (fot. OBRUM sp. z o.o.)

Typowy system CAVE to prostopadłościan, którego długość krawędzi waha się najczęściej od 2,5 do 5 metrów. Oprócz gotowych rozwiązań dostępnych na rynku [10] możliwe jest zaprojektowanie i budowa systemu o wymiarach indywidualnych, dostosowanych do dostępnej przestrzeni oraz potrzeb użytkownika. System projekcyjny składa się z czterech prostopadle ułożonych ekranów projekcyjnych (trzy ściany oraz podłoga), ale spotyka się również bardziej zaawansowane konfiguracje zbudowane z pięciu lub sześciu powierzchni, dające użytkownikowi możliwość całkowitego przeniesienia się w przestrzeń wirtualną. Dzięki umieszczeniu na wszystkich realnych obiektach znajdujących się wewnątrz jaskini specjalnych czujników i użyciu zaawansowanego systemu śledzenia ruchu (element systemu pokazuje rys. 5) możliwe jest jego współdziałanie ze światem

wirtualnym. Użytkownik, poprzez ruchy swojego ciała, ma możliwość ręcznej nawigacji obrazem oraz elementami umieszczonymi w scenie, a ponadto system w sposób automatyczny dostosowuje jego pozycję w wirtualnym środowisku, zmieniając punkt widzenia oraz perspektywę, co dodatkowo wzmacnia odczucie zanurzenia w przestrzeni wirtualnej [11].



Rys. 5. Zestaw nagłowny z markerami pasywnymi (fot. OBRUM sp. z o.o.)

Liczne zalety, z których najważniejsze to: stereoskopowy przestrzenny obraz 360°, szeroki perspektywiczny kąt widzenia, projekcja 3D w skali rzeczywistej, dźwięk przestrzenny, zaawansowany system śledzenia ruchu wraz z intuicyjnym sterowaniem oraz specjalistycznym kontrolerem czynią z systemu CAVE 3D nowoczesne narzędzie wizualizacyjne.

3.2. Zakres stosowania

Systemy CAVE mają coraz szersze zastosowania i są wykorzystywane w różnych dziedzinach, między innymi w:

- nauce i edukacji;
- wojsku i służbach mundurowych;
- rozrywce;
- inżynierii przemysłowej;
- kulturze i sztuce.

3.3. Zastosowanie systemu w procesie projektowania

System projekcji CAVE 3D może być wykorzystywany jako nowoczesne, innowacyjne narzędzie do prezentacji projektów koncepcyjnych, projektów wstępnych, analiz (pozwalających na dokładny przegląd ukończenia i topologii rozmieszczenia oraz ergonomii wyposażenia w wyrobie) oraz sprawdzenia wszystkich funkcjonalności w nowo projektowanym wyrobie. Wymaga to jednak opracowania i wdrożenia do praktyki nowej metodologii zintegrowanego projektowania wyrobu z systemem wizualizacyjnym (CAVE 3D).

System CAVE 3 D został pozyskany i wdrożony w OBRUM sp. z o.o. z przeznaczeniem do bardzo złożonych prac projektowych. Pierwsze prace w tym obszarze zostały zrealizowane w Ośrodku z sukcesem. Praktyczne zastosowania w projektach Ośrodka to:

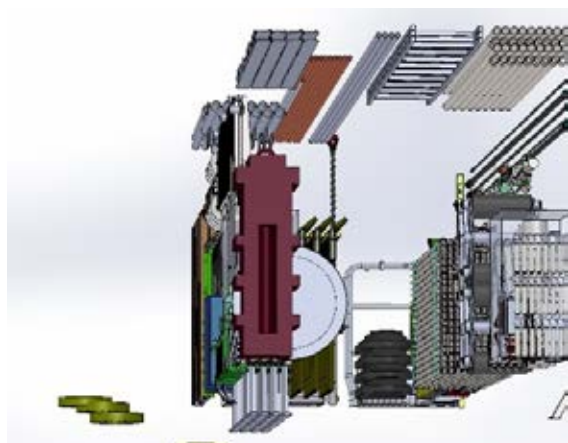
- wirtualny prototyp czołgu PL- 01 Concept (rys. 6);



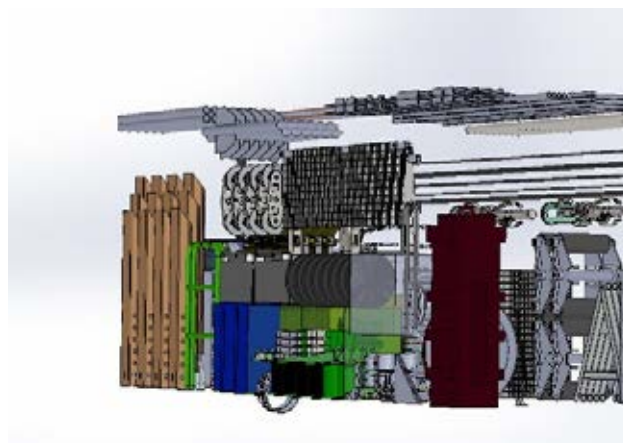
Rys. 6. Wirtualny prototyp czołgu PL-01 Concept

System projekcji immersyjnej CAVE 3D pojazdu koncepcyjnego został wykorzystany w OBRUM sp. z o.o. do zbudowania wirtualnego prototypu PL-01 Concept, przeprowadzenia weryfikacji ergonomii oraz opracowania konfiguratorów uzbrojenia i podstawowych systemów mechanicznych [8].

- kontener logistycznego wyposażenia mostu MS-40 (rys.7, 8).



a – projekt 3D wnętrza kontenera

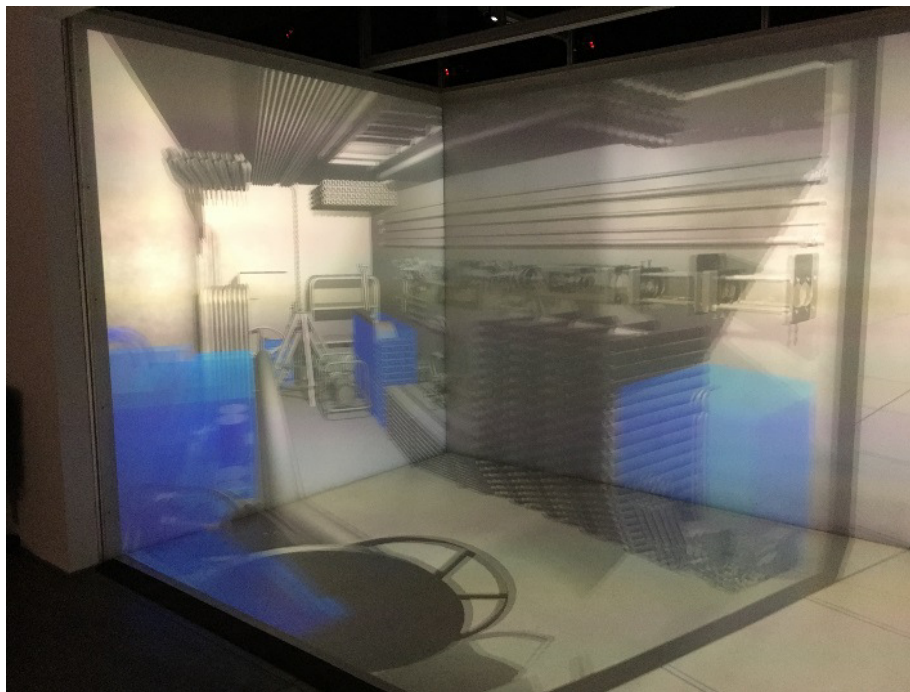


b – projekt 3D wnętrza kontenera

Rys. 7. Wnętrze kontenera mostu MS-40

Zabudowa wyposażenia kontenera została zaprojektowana z wykorzystaniem wirtualnego prototypowania 3D (rys. 7).

W trakcie projektowania logistycznego kontenera stanowiącego ukończenie mostu samochodowego MS-40 system projekcji CAVE 3D został wykorzystany do prezentacji ułożenia i rozmieszczenia przewożonych części (rys. 8). Zaproponowane rozwiązanie przedyskutowano z zamawiającym – przedstawicielem Inspektoratu Uzbrojenia MON.



Rys. 8. Wnętrze kontenera – wizualizacja w CAVE 3D

4. PODSUMOWANIE

Zespół projektowy, rozwiązując złożone i skomplikowane zagadnienia konstrukcyjne wykorzystuje głównie modele przestrzenne 3D tworzone przy wspomaganii komputerowym. Zazwyczaj nie widzi w całości urządzenia i wszystkich cech funkcjonalnych. Stosując projektowanie zintegrowane z systemem wizualizacyjnym w skali rzeczywistej, np. typu CAVE konstruktor z klientem może „wejść do systemu wizualizacji” i znaleźć się wewnątrz komputerowego modelu wyrobu [8].

Możliwość przedstawienia różnych wariantów rozwiązania opracowywanej konstrukcji zdecydowanie ułatwia weryfikację projektu koncepcyjnego lub wstępnego na zgodność z wymaganiami (wytyczne konstrukcyjne, Wstępne Założenia Taktyczno-Techniczne itp.) Pozwala również na wypracowanie wspólnej płaszczyzny porozumienia z klientem/zamawiającym. Może on zobaczyć w przestrzeni wirtualnej – w jaskini 3D (CAVE) jak wyglądać będzie projektowany wyrób, ułożenie i rozmieszczenie wyposażenia, współpraca wybranych podzespołów itp. Na bieżąco możliwe jest obserwowanie dokonywanych zmian (wymagana jest jednak zweryfikowana lub zmodyfikowana dokumentacja projektowa). System projekcji wielokanałowej 3D (CAVE) to szczególnie przydatny tryb komunikacji, zwłaszcza przy ograniczonych kontaktach oraz wizytach klientów zagranicznych i wymaganiu zatwierdzenia koncepcji rozwiązania czy też zaprezentowania zweryfikowanej dokumentacji technicznej.

Prezentacja wyrobu lub jego podzespołów w systemie CAVE 3D wymaga posiadania kompletnych i aktualnych modeli CAD zintegrowanych z systemem wizualizacji. Bieżące prezentowanie (np. klientowi) kolejnych wersji konstrukcyjnych (odmian wykonania) wymaga wyprzedzających prac projektowych realizowanych poprzez modelowanie – prototypowanie wirtualne 3D. Trzeba mieć tu jednak na uwadze, że są to prace wymagające czasu i niosące ze sobą dodatkowe koszty.

Posiadany innowacyjny system projekcji wielokanałowej stworzył nowe kompetencje OBRUM sp. z o.o. nie będące bez znaczenia w podniesieniu konkurencyjności zarówno na rynku krajowym, jak i na rynkach zagranicznych.

Zdobyte doświadczenia mogą być wykorzystane do tworzenia kolejnych, mechatronicznych wyrobów wielkogabarytowych o przeznaczeniu wojskowym i cywilnym.

6. LITERATURA

- [1] Decyzja nr 72/MON Ministra Obrony Narodowej z dnia 25 marca 2013 r. w sprawie pozyskiwania sprzętu wojskowego i usług dla Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej. Dziennik Urzędowy Ministra Obrony Narodowej – Poz.78. Warszawa, dnia 25 marca 2013 r.
- [2] Decyzja nr 349/MON Ministra Obrony Narodowej z dnia 20 września 2011 r. w sprawie wprowadzenia „Instrukcji w sprawie zarządzania dokumentacją techniczną Uzbrojenia i Sprzętu Wojskowego” oraz „Instrukcji w sprawie określenia wymagań na dokumentację techniczną Uzbrojenia i Sprzętu Wojskowego”. Dziennik Urzędowy Ministra Obrony Narodowej – Poz. 287. Warszawa, dnia 14 października 2011 r.
- [3] Potyrała R.: Działalność Zakładu Konstrukcyjnego w strukturach organizacyjnych OBRUM. Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe (10/11) 1998 (str. 39-56). ISSN: 0860-8369.OBRUM. Gliwice, wrzesień 1998.
- [4] Regulamin Organizacyjny OBRUM sp. z o.o. Zarządzenie Nr 8/2016 Prezesa Zarządu OBRUM sp. z o.o. z dnia 24 czerwca 2016 roku.
- [5] Tomaszewski S.: Z perspektywy lat. Ewolucja procesu projektowania. Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe (48/49) 2018 (str. 241-246). ISSN: 0860-8369. OBRUM sp. z o.o. Gliwice, wrzesień 2018.
- [6] Solid Works Premium 2018. Solid Works Corporation. 300 Baker Avenue. Concord, Massachusetts. USA.
- [7] Domański J.: Solid Works 2014. Projektowanie maszyn i konstrukcji. HELION, Gliwice.
- [8] Koźlak M., Nawrat A.: Centrum symulacji wojskowych. Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe (34) nr 1, 2014 (str. 25-32) ISSN: 0860-8369.OBRUM sp. z o.o. Gliwice, marzec 2014.
- [9] Lebieź J., Mazikowski A.: Uruchomienie laboratorium zanurzonej wizualizacji przestrzennej. Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe (34) nr 1, 2014 (str. 41-48). ISSN: 0860-8369. OBRUM sp. z o.o. Gliwice, marzec 2014.
- [10] Systemy projekcji wielokanałowej. <http://integraav.pl/produkty-i-rozwiazania/systemy-projekcji-wielokanalowej.html>[dostęp: 25.05.2019].
- [11] CAVE 3D (Automatic Virtual Environment). <http://www.obrum.gliwice.pl/cave-3d> [dostęp: 25.05. 2019].

CAVE 3D PROJECTION SYSTEM IN THE PROCESS OF PRODUCT DESIGNING

Abstract. The article presents changes taking place over the years in the organization of the preparation of technical and construction documentation. A modern CAVE 3D projection system, implemented at OBRUM for supporting design processes, is discussed. The principle of system operation, its characteristic features and limitations are described. The summary emphasizes the advantages of the system that enable elimination of errors and direct contact with the customer at the stage of creating a conceptual design of a device or of product design to be submitted for approval.

Keywords: design, engineering, virtual prototyping, 3D design, CAVE 3D projection system, technical documentation, design documentation.