

Politechnika Śląska
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn

Sylwester OLESZEK

METODA
WSPOMAGANIA
PROJEKTOWANIA
NACZYŃ SZKLANYCH
Z ZASTOSOWANIEM
KONFIGURATORA
W ŚRODOWISKU
POSZERZONEJ
RZECZYWISTOŚCI

Gliwice 2018

Recenzenci

Prof. dr hab. inż. Jerzy Pokojski, Politechnika Warszawska

Dr hab. inż. Ireneusz Wróbel, prof. ATH, Akademia Techniczno-Humanistyczna

Redaktor zeszytów

Wojciech Moczulski

Redaktor techniczny

Marek Wyleżoł

Projekt okładki

Wojciech Cholewa, Marek Wyleżoł

Zeszyt Naukowy Instytutu Podstaw Konstrukcji Maszyn

BibTeX

```
@BOOK{, title = {Metoda wspomagania projektowania naczyń szklanych z  
zastosowaniem konfiguratora w środowisku poszerzonej rzeczywistości},  
publisher = {Politechnika Śląska, Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn},  
year = {2018}, author = {Oleszek, S.}, volume = {150}, series = {Zeszyty  
Naukowe}, address = {Gliwice}}
```

ISBN 978-83-60759-25-7

Wydawca

Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechnika Śląska
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice
Tel. (32) 237-14-67, fax (32) 237-13-60
<https://ipkm.polsl.pl>

Druk i oprawa (z dostarczonych materiałów)
Repromedia ul. Łużycka 6, 44-100 Gliwice

Spis treści

Od autora	5
Wykaz skrótów i nazw	7
1 Wprowadzenie	9
1.1 Wstęp	9
1.2 Problem naukowy	12
1.3 Cel rozprawy	14
1.4 Tezy rozprawy	14
1.5 Zakres rozprawy	15
2 Przegląd istniejącego stanu wiedzy	17
2.1 Produkt i cykl życia produktu	17
2.2 Komputerowe wspomaganie w procesie rozwoju nowego produktu	18
2.2.1 Proces projektowo-konstrukcyjny	19
2.2.2 Proces projektowo-konstrukcyjny naczyń szklanych	21
2.2.3 Metody automatyzacji procesu projektowo-konstrukcyjnego	29
2.2.4 Konfiguratorry produktowe	38
2.3 Techniki poszerzonej rzeczywistości	40
2.3.1 Biblioteki poszerzonej rzeczywistości	45
2.3.2 Zintegrowane środowisko multimedialne Unity3D	48
2.4 Podsumowanie	49
3 Metoda konfiguracji naczyń szklanych	51
3.1 Założenia metody	51
3.2 Konfiguracja produktu w odseparowaniu od rutynowych konstrukcyjnych działań inżynierskich	52
3.3 Projektowanie partycypacyjne oraz zorientowane na użytkownika	52
3.4 Konfiguratorry produktowe	53
3.5 Możliwość sprawdzenia modelu 3D w realnym świecie	54
3.6 Podsumowanie	54
4 System wspomagania procesu projektowania naczyń szklanych	57
4.1 Architektura systemu	57
4.2 Interfejsy oraz środowisko programistyczne	58
4.2.1 System Creo Parametric – Visual Basic Api	58
4.2.2 System Unity3D – C	61
4.3 Algorytmy działania systemu	63
4.4 Modele parametryczne naczyń szklanych	66

4.5	Dobór znaczników	70
4.6	Graficzny interfejs użytkownika aplikacji AR	71
4.7	Podsumowanie	80
5	Implementacja metody i jej zastosowania	83
5.1	Obszary zastosowania metody	83
5.2	Prototypowy system konfiguracji naczyń szklanych	84
5.2.1	Przygotowanie systemu do pracy	85
5.2.2	Ogólny opis działań realizowanych za pomocą systemu	86
5.2.3	Komunikacja pomiędzy komponentami systemu	87
5.3	Wybrane scenariusze działań	89
5.4	Podsumowanie	92
6	Badania zaproponowanej metody i opracowanego systemu	93
6.1	Weryfikacja systemu wspomaganie projektowania naczyń szklanych	94
6.1.1	Uczestnicy	94
6.1.2	Plan oraz przebieg badań weryfikacyjnych	96
6.1.3	Ocena systemu	98
6.2	Ocena przydatności metody wspomaganie projektowania	103
6.2.1	Uczestnicy	105
6.2.2	Środowisko testowe	105
6.2.3	Plan oraz przebieg badań walidacyjnych	106
6.2.4	Ocena metody	108
6.3	Podsumowanie przeprowadzonych badań	117
7	Podsumowanie i wnioski	121
8	Perspektywy rozwojowe	123
	Załączniki	125
A	Modele parametryczne	127
B	Szczegółowe wyniki badań weryfikacyjnych	135
C	Szczegółowe wyniki badań oceny przydatności metody	145
	Bibliografia	162
	Streszczenie	163
	Summary	164

Od autora

Zeszyt ten został opracowany na podstawie rozprawy doktorskiej, którą wykonałem pod kierunkiem dra hab. inż. Marka Wyleżoła. Publiczna obrona rozprawy odbyła się 10. lipca 2018 roku przed Komisją powołaną przez Radę Wydziału Mechanicznego Technologicznego.

Składam serdeczne podziękowania recenzentom rozprawy doktorskiej, prof. dr. hab. inż. Jerzemu Pokojkiemu oraz dr. hab. inż. Ireneuszowi Wróblowi, prof. ATH. za cenne uwagi, które uwzględniłem w niniejszym opracowaniu.

Pragnę wyrazić swoją szczególną wdzięczność mojemu promotorowi dr. hab. inż. Markowi Wyleżołowi oraz promotorowi pomocniczemu dr. inż. Marcinowi Januszce za cenne wskazówki, inspirację i wsparcie podczas przygotowywania rozprawy doktorskiej. Składam także podziękowania Koleżankom i Kolegom z Instytutu Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej za okazaną mi pomoc i życzliwość w czasie wykonywania pracy. Powstanie tej pracy nie byłoby możliwe bez pomocy wielu osób, które trudno tutaj wymienić z imienia i nazwiska, a które pomogły mi znacząco w prowadzonych w ramach pracy badaniach naukowych. Wszystkim tym osobom serdecznie dziękuję.

Niniejszą książkę dedykuję mojej najbliższej Rodzinie, a w szczególności mojej żonie Katarzynie, dziękując za Jej wsparcie, wyrozumiałość i cierpliwość.

Jasło, Lipiec 2018

Sylwester Oleszek

Wykaz skrótów i nazw

API	Application Programming Interface – interfejs programistyczny aplikacji
AR	Augmented Reality – poszerzona rzeczywistość
B&B	Blow and Blow – metoda dmuch-dmucha
BoM	Bill of Materials – lista materiałowa, wykaz materiałów
CAD	Computer Aided Designing – komputerowo wspomagane projektowanie
CAE	Computer Aided Engineering - komputerowo wspomagane prace inżynierskie
CAM	Computer Aided Manufacturing - komputerowo wspomagane wytwarzanie
CATIA	Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application – zaawansowany system CAx, opracowany przez firmę Dassault Systemes
CAx	Computer-Aided x – zintegrowane wielomodułowe systemy do wspomagania całego okresu tzw. „życia wytworu”
CIM	Computer Integrated Manufacturing - komputerowo zintegrowane wytwarzanie
CETIE	Centre Technique International de l’Embouteillage et du Conditionnementto - Międzynarodowe Techniczne Centrum Naczyn i Zamknięć
CLM	Configuration Lifecycle Management - zarządzanie cyklem życia konfiguracji
co-design	Cooperative-design – projektowanie partycypacyjne
CM	Configuration Management - zarządzanie konfiguracją
CRM	Customer Relationship Management - zarządzanie relacjami z klientami
ERP	Enterprise Resource Planning - planowanie zasobów przedsiębiorstwa
GPS	Global Positioning System - system nawigacji satelitarnej utworzony przez Departament Obrony Stanów Zjednoczonych
GUI	Graphic User Interface - graficzny interfejs użytkownika
IDE	Integrated Development Environment – zintegrowane środowisko programistyczne, czyli aplikacja lub zespół aplikacji (środowisko) służących do tworzenia, modyfikowania, testowania i konserwacji oprogramowania
IGES	Initial Graphics Exchange Specification - wstępna specyfikacja wymiany danych graficznych
KBE	Knowledge-Based Engineering – projektowanie oparte na wiedzy
MRP II	Manufacture Resource Planning - planowanie zasobów produkcyjnych

NNP&B	Narrow Neck Press and Blow – metoda formowania prasowanie-dmucha dla naczyń wąskootworowych
NPD	New Product Development – proces rozwoju nowego produktu
OOP	Object Oriented Programming - programowanie zorientowane obiektowo
OST	optical see-through - wyświetlacz optyczny
P&B	Press and Blow – metoda prasowanie-dmucha
PLM	Product Lifecycle Management – zarządzanie cyklem życia produktu
PDM	Product Data Management – zarządzanie danymi produktu
STEP	Standard for Exchange of Product Model Data - standard wymiany danych modelu produktu
UCD	User-Centered Design – projektowanie zorientowane na użytkownika
UDF	User Defined Feature - parametryczne cechy postaciowe zdefiniowane przez użytkownika
UML	Unified Modelling Language – zuniifikowany język wykorzystywany do modelowania różnego rodzaju systemów i jako forma reprezentacji wiedzy
UX	User Experience – doświadczenie użytkownika
UWP	Universal Windows Platform - uniwersalna platforma Windows, czyli koncepcja umożliwiająca uruchamianie aplikacji na różnych platformach sprzętowych działających pod kontrolą systemu operacyjnego Windows
VR	Virtual Reality – wirtualna rzeczywistość
VST	video see-through - wyświetlacz video
XML	Extensible Markup Language – uniwersalny język formalny przeznaczony do reprezentowania różnych danych w strukturalizowany sposób

Rozdział 1

Wprowadzenie

W niniejszej pracy zaproponowano autorską metodę wspomagania procesu projektowania naczyń szklanych, w opracowaniu której zastosowane zostały metody i techniki spotykane w konfiguratorach produktowych, a prezentacja wyników procesu – modeli 3D naczyń oraz ich parametrów – odbywa się w środowisku poszerzonej rzeczywistości. To co wyróżnia tę metodę, to jej przeznaczenie – skierowana jest głównie do osób niebędących doświadczonymi projektantami lub konstruktorami (mimo że może być stosowana również przez osoby doświadczone).

Zainteresowanie autora poruszaną dziedziną nauki – zarówno samym procesem projektowo-konstrukcyjnym, jak i naczyniami szklanymi – było skutkiem bogatego doświadczenia praktycznego zdobytego w trakcie realizacji projektów przemysłowych, kiedy to rodziły się pytania, które były początkiem badań, a ich owocem jest niniejsze opracowanie.

1.1. Wstęp

Konstruowanie jest tylko jednym z etapów procesu rozwoju nowego produktu (ang. *New Product Development*, NPD). Jednak jest to etap najważniejszy. To właśnie w procesie konstruowania należy bowiem uwzględniać aspekty wszystkich kolejnych etapów jego istnienia (Skarka, 2007a), a więc przede wszystkim względy technologiczne, produkcyjne, ekonomiczne, marketingowe, i logistyczne. Odnośząc to do opakowań szklanych, o których będzie mowa w dalszej części pracy, wszystkie powyższe względy uogólnić można do dwóch czynników, z których wypływają wszystkie inne, a które mają decydujący wpływ na ostateczną postać takiego opakowania: funkcja, jaką ma opakowanie oraz ograniczenia technologii produkcyjnej.

Funkcje spełniane przez opakowania to:

- zmniejszanie liczby stopni swojej zawartości (Dietrych, 1985),
- zabezpieczanie wartości użytkowej towaru przed zepsuciem lub zniszczeniem (funkcja ochronna),
- promowanie produktów znajdujących się wewnątrz opakowania (funkcja promocyjno-sprzedażna),
- umożliwienie przemieszczania, składowania i użytkowania (funkcja organizacji pracy),

- identyfikowanie i odróżnianie produktów (funkcje: informacyjna, ekologiczna i edukacyjna) (Hales, 1999).

Ograniczenia technologiczne produkcji na automatach szklarskich uwarunkowane są głównie cechami tworzywa, jakim w przypadku naczyń szklanych jest szkło. Zadaniem konstruktora pracującego nad nowym produktem – wzorem naczynia szklanego – jest zatem pogodzenie wszystkich powyższych aspektów i utworzenie wirtualnej reprezentacji opakowania, będącej zbiorem cech konstrukcyjnych, które będą odzwierciedlały jego strukturę zewnętrzną oraz wewnętrzną (Dietrych, 1985). W celu osiągnięcia maksymalnej wydajności konstruktor powinien mieć możliwość korzystania z wszelkich dostępnych metod i środków wspomagających proces konstruowania (Oleszek, 2014).

Firmy dysponując odpowiednimi środkami często są w stanie wyposażyć swoje biura konstrukcyjne w wysokiej jakości narzędzia programowe, w postaci nowoczesnych systemów do wspomagania projektowania komputerowego (ang. *Computer-Aided x*, CAx), zaawansowanych systemów bazujących na wiedzy (ang. *Knowledge-Based Engineering*, KBE) (Skarka, 2007b; Gil et al., 2011; Pokojski, 2013), aplikacji do zarządzania danymi produktu (ang. *Project Data Management*, PDM) lub też w platformy programowe do zarządzania kompletnym cyklem życia produktów (ang. *Product Lifecycle Management*, PLM). Często jednak problemem jest sam proces, który ułożony jest w taki sposób, że stanowi pewną przeszkodę zarówno dla jego uczestników po stronie firmy, jak i po stronie klienta. Procesy powinny być szybkie, właściwie zdefiniowane, precyzyjne, mierzalne oraz zrozumiałe. Jeżeli takie nie są, to firma ma poważny problem z wydajnością lub kosztami. Największym problemem są te czynności, które dla inżynierów są najbardziej pracochłonne. Zaoszczędzony czas mógłby być wykorzystany na realizację działań związanych np. z wprowadzaniem innowacji w produkcie lub w usprawnianiu procesu jego produkcji (Watts, 2009).

Zaawansowane systemy wprowadzają liczne usprawnienia i nowe narzędzia, lecz przebieg samego procesu rozwoju nowego produktu zostaje zwykle co najwyżej lekko zmodyfikowany. W związku z tym pomimo znacznego przyśpieszenia procesu rozwoju nowego produktu związanego z szybszą realizacją działań konstrukcyjnych i znacznym odciążeniem konstruktorów z rutynowych operacji oraz łatwiejszym dostępem do danych przez osoby zaangażowane w projekt, sam proces w swojej istocie pozostaje w zasadzie niezmienny. W trakcie wdrażania zaawansowanych systemów procesy są weryfikowane oraz dopracowywane, lecz przedefiniowywane są tylko wtedy, gdy uruchamiana jest zupełnie nowa technologia.

Jednym z rozwiązań, które miało bardzo duży wpływ na przebieg zarówno procesu konstrukcyjnego, jak również produkcyjnego i wymagało przedefiniowania procesu rozwoju produktów, było wynalezienie i zastosowanie tzw. konfiguratorów produktowych (Watts, 2009; Eigner and Fehrenz, 2011; Felfernig et al., 2014; Forza and Salvador, 2006). Największe zastosowanie znalazły one tam, gdzie istniała potrzeba kastomizowania¹ produktów do indywidualnych potrzeb klientów. Im większa jest liczba produktów, stopień ich dopasowania, zróżnicowania oraz ich złożoności, tym większą rolę odgrywają konfiguratorzy. Jedną z największych zalet tych zaawansowanych systemów – z technicznego punktu widzenia – jest możliwość odseparowania interfejsu użytkownika od części systemu odpowiedzialnej za obliczenia inżynierskie. Dzięki temu pojawiła się możliwość dowolnego zaprojek-

¹kastomizacja, z ang. *customization* - indywidualizacja, dostosowanie czegoś do potrzeby użytkownika lub klienta

towania interfejsu użytkownika przy wykorzystaniu wielu możliwości systemów oferujących ogromne możliwości graficzne, jak na przykład aplikacje internetowe lub silniki graficzne, ale bez ograniczeń zaawansowanych oraz – z punktu widzenia osób niebędących inżynierami-konstruktorami – skomplikowanych. Dodatkowo, stacja robocza lub serwer, na którym odbywają się obliczenia inżynierskie, może znajdować się w zupełnie innej lokalizacji niż urządzenie odpowiedzialne za przetwarzanie danych związanych z interfejsem użytkownika, które dzięki temu może być (współcześnie) kompaktowe.

Pozwala to więc podzielić zaprojektowany w ten sposób system na dwie części – warstwę inżynierską oraz warstwę zaprojektowaną dla użytkownika niebędącego inżynierem. Podział taki jest szczególnie ważny, gdyż otwiera możliwości tzw. projektowania partycypacyjnego (ang. *co-operative design*, *co-design*), a więc z aktywnym udziałem klienta.

Projektowanie partycypacyjne oznacza proces kreatywnej interakcji pomiędzy klientem, powstającym produktem (który nie ma jeszcze swojej fizycznej reprezentacji), a firmą. Efektem tej interakcji jest projekt produktu, a oczekiwaną wartością dodaną takiego podejścia jest większe prawdopodobieństwo zaspokojenia potrzeb klienta, niż w przypadku konwencjonalnego projektowania (Thalmaier, 2014). Dodatkowo produkty, nawet jeżeli są produkowane masowo, ale zostały skonfigurowane przez klienta lub zaprojektowane z jego udziałem, są z reguły sprzedawane za cenę 20 do 30% wyższą, niż tzw. produkty „z półki” (Seibold, 2014). Istnienie części systemu ze zrozumiałym i przyjaznym interfejsem daje możliwość wyeksponowania pewnych elementów inżynierskich w przyjazny i zrozumiały sposób. Pozwala też zebrać wymagania bezpośrednio od klienta, a poprzez aktywny jego udział w procesie projektowania pozwala mu uczyć się zarówno procesu, jak i powstającego produktu, a jednocześnie daje możliwość testowania go. Wiąże się to także z ideą tzw. projektowania skoncentrowanego na użytkowniku (ang. *user-centered design*, UCD). Termin ten wywodzi się z informatyki i w swojej istocie zakłada badanie potrzeb i wymagań użytkownika na każdym etapie procesu projektowego. W projektowaniu skoncentrowanym na użytkowniku bardzo ważne jest jak najczęstsze kontaktowanie się z użytkownikami końcowymi produktu. Cały proces można opisać jako wzorcowy cykl obejmujący badania użytkowników, projektowanie, badania, projektowanie itd. Projektanci stosują projektowanie skoncentrowane na użytkowniku, ponieważ pomaga w podejmowaniu lepszych decyzji (Allen J., 2013).

Bezpośredni udział klienta w procesie projektowania ma jeszcze jedną niezwykle ważną, ale mniej widoczną cechę – daje możliwość budowania jego pozytywnych doświadczeń (ang. *user experience*, UX). Idea *user experience* obejmuje wszystkie aspekty interakcji użytkownika z firmą, jej usługami i produktami. Prawdziwe *user experience* przekracza dawanie konsumentom tego, o czym mówią, że tego chcą, lub tylko produktu z listą niezbędnych cech. Aby osiągnąć zadowolenie klienta na najwyższym możliwym poziomie konieczne jest płynne przenikanie się wielu dyscyplin takich jak: technologia, marketing, projektowanie graficzne i użytkowe, czy projektowanie interfejsów (UXDesign, 2017).

Równie ważnym aspektem co właściwe zdefiniowanie procesu oraz zaangażowanie w ten proces użytkownika jest możliwość zaprezentowania w przystępnej formie efektów tego procesu, a więc finalną postać geometryczną projektowanego obiektu – nie tylko jako dwuwymiarowy rysunek, lecz również jako trójwymiarowy model. Jest to istotne zarówno z punktu widzenia konstruktorów, którzy często tworzą fizyczne prototypy w różnych fazach rozwoju produktu żeby po-

twierdzić lub przedefiniować pomysły oraz rozwiązać możliwe wątpliwości, jak również z punktu widzenia klienta, który fizyczne prototypy używa do demonstracji produktu, promocji i oceny projektu. Dostarczają one pełnych lub przynajmniej częściowych funkcjonalności docelowego produktu, jak również pozwalają go przetestować (Shin, 2013). Jest to szczególnie ważne w branży naczyń szklanych, w której jedną z najważniejszych potrzeb klienta jest chęć obejrzenia projektowanego wzoru opakowania w docelowym kontekście, a więc napełnionego wsadem, z nałożoną etykietą, umieszczonego na półce sklepowej, do porównania go z innymi wzorami opakowań lub z wzorami konkurencji. Niemniej jednak w przypadku materiału o tak bardzo charakterystycznych właściwościach jakim jest szkło, dostępne obecnie metody i techniki prototypowania nie pozwalają w pełni zaspokoić wszystkich tych potrzeb, a te które pozwalają zaspokoić je częściowo obciążają projekt wysokimi kosztami oraz znacząco wydłużają proces. Innymi słowy – metody i techniki szybkiego prototypowania (ang. *Rapid Prototyping*), jak np. wytwarzanie generatywne (Chlebus, 2000; Muzalewska et al., 2014; Wyleźoł et al., 2016) nie zapewniają wystarczającego odwzorowania właściwości fizycznych oraz wizualnych szkła, a techniki obróbki ubytkowej, mimo iż pozwalają wiernie imitować szkło, są kosztowne (w przypadku potrzeby wykonania kilku lub kilkunastu prototypów) oraz cechują się długim czasem realizacji.

Rozwiązaniem tych problemów są podejmowane w ostatnich latach próby wspomaganie różnych etapów procesu projektowo-konstrukcyjnego danego obiektu poprzez zastosowanie technik tzw. „poszerzonej rzeczywistości” (ang. *augmented reality*, AR) (Januszka, 2012). Nowoczesne metody komputerowego wspomaganie różnych etapów procesu opracowania środka technicznego (w tym bazujące na AR) mogą ułatwić realizację podstawowych wymogów stawianych przyszłym wytworom. Techniki AR pozwalają łączyć komputerowo generowany świat (wirtualny) ze światem rzeczywistym (w którym znajduje się użytkownik), w taki sposób, aby stanowiły one jedno zsynchronizowane środowisko (Januszka, 2012). Dzięki bardzo szybkiemu wzrostowi mocy obliczeniowej komputerów oraz urządzeń przenośnych, możliwe stało się implementowanie rozwiązań AR pozwalających na wyświetlanie wirtualnych modeli pokrytych realistycznymi teksturami na ekranach smartfonów, tabletów lub w okularach poszerzonej rzeczywistości. W związku z tym pojawiła się możliwość prezentowania złożonych, realistycznie wyglądających modeli w dowolnym miejscu oraz w dowolnym kontekście, bez konieczności długiego czasu oczekiwania na wytworzenie fizycznego prototypu oraz ponoszenia dodatkowych kosztów.

Łącząc zaawansowane parametryczne systemy CAx, elementy technik stosowanych w konfiguratorach produktowych oraz techniki poszerzonej rzeczywistości w jeden spójny system i korzystając z mocy obliczeniowej współczesnych urządzeń mobilnych można znacząco przeddefiniować proces rozwoju nowego produktu, a w kontekście procesu projektowania naczyń szklanych może stanowić jeszcze większe usprawnienie, gdyż w niektórych przypadkach może zupełnie wyeliminować potrzebę tworzenia fizycznego prototypu.

1.2. Problem naukowy

Problem badawczy, jakim zajął się autor, jest związany z opracowaniem metody wspomaganie procesu projektowania naczyń szklanych z zastosowaniem nowego, nie stosowanego wcześniej podejścia. W proponowanym podejściu uwzględniono bezpośrednio zaangażowanie w proces projektowania również klienta, więc metoda

powinna umożliwić opracowanie naczynia szklanego osobie, która nie zajmuje się zawodowo projektowaniem, ewentualnie z asystą projektanta lub konstruktora. W dotychczas stosowanym procesie rozwoju nowego produktu osoby takie odpowiedzialne są wyłącznie za przekazywanie wytycznych oraz wymagań do opracowania projektu naczynia szklanego do działu konstrukcyjnego, jak również za jego finalną akceptację. Z zastosowaniem opracowanej przez autora metody osoby te będą miały możliwość również aktywnego uczestniczenia w procesie tworzenia modelu 3D naczynia szklanego.

Aby klient nieposiadający umiejętności związanych z projektowaniem lub konstruowaniem mógł skutecznie zrealizować proces projektowy, uzasadnionym podejściem jest użycie nowoczesnych technik komputerowych, tj. wspomnianych technik AR, do wizualizacji postaci geometrycznej opracowywanych naczyń szklanych oraz do prezentacji informacji o ich cechach konstrukcyjnych. Za pomocą AR użytkownik systemu komputerowego może realizować wybrane działania projektowe w bardziej przyjazny, naturalny i intuicyjny sposób, a same działania projektowe mogą być wykonywane od razu w wybranym dla opracowywanego naczynia kontekście (np. w otoczeniu innych naczyń szklanych).

W celu zapewnienia spójności utworzonych w trakcie opracowywania modelu naczynia danych z pozostałymi procesami technologicznymi oraz produkcyjnymi, powinny zostać zastosowane mechanizmy automatyzacji, stosowane między innymi w konfiguratorach produktowych.

Realizacja badań będzie zatem obejmować rozwiązanie szeregu problemów szczegółowych.

Szczegółowym problemem badawczym jest opracowanie i zbadanie środków pozwalających wydajnie wykonywać działania projektowe w środowisku AR. Kluczowymi zagadnieniami w tym obszarze, które wymagają rozwiązania są: analiza i wybór odpowiedniego narzędzia odpowiedzialnego za generowanie widoku sceny AR, jak również określenie zasad zarządzania widokiem tej sceny, interakcji pomiędzy prezentowanymi elementami oraz zarządzania danymi.

Kolejnym problemem szczegółowym jest określenie metod automatyzacji działań projektowych w wybranym zaawansowanym systemie klasy CAx na potrzeby tworzenia modeli trójwymiarowych naczyń szklanych, ale bez bezpośredniego dostępu do operacji dostępnych w interfejsie użytkownika takiego systemu.

Szczegółowym problemem badawczym jest także określenie oraz implementacja reguł umożliwiających konfigurację modeli naczyń szklanych z predefiniowanych elementów w taki sposób, aby finalnie mogły być wykorzystane w kolejnych etapach cyklu życia. Jednym z najważniejszych zagadnień, które wymaga tutaj rozwiązania jest opracowanie modeli parametrycznych podatnych na wprowadzane przez niedoświadczonego w projektowaniu użytkownika wartości parametrów.

Kolejnym problemem badawczym jest opracowanie metody komunikacji oraz obustronnej wymiany danych pomiędzy systemem klasy CAx oraz aplikacją opartą o nieparametryczny silnik graficzny, przy czym obydwa systemy powinny działać na różnych platformach sprzętowych i mogą znajdować się w różnych lokalizacjach.

Osobnym zadaniem jest też odpowiednie zaprojektowanie środków programowych pozwalających na implementację opracowanej metody wspomagania procesu projektowania naczyń szklanych.

Zauważyć można, że podjęty przez autora problem badawczy jest nowatorski i nietrywialny, a jego rozwiązanie wymaga złożonego podejścia.

1.3. Cel rozprawy

Celem niniejszej rozprawy było opracowanie nowej skutecznej metody wspomagania procesu projektowania naczyń szklanych, z udziałem użytkownika², który nie jest ani projektantem ani konstruktorem, a także opracowanie systemu opartego na technikach AR, który umożliwiłby praktyczną realizację tej metody. Przyjęto, że system będzie składał się z dwóch części: jednej, opartej na działaniu wybranego zaawansowanego systemu CAx oraz drugiej, opartej na aplikacji utworzonej z użyciem wybranego silnika graficznego, w której zostaną zaimplementowane wybrane biblioteki AR. Przyjęte zostało również założenie, że obydwie części systemu będą działały na różnych platformach sprzętowych, przy czym część odpowiedzialna za wyświetlanie sceny AR będzie działała na platformie mobilnej.

Celem użytkowym, do osiągnięcia którego zmierzał autor, była poprawa efektywności procesu projektowania naczyń szklanych poprzez aktywne zaangażowanie (biernego dotychczas) użytkownika ze strony zamawiającego nowy wzór opakowania szklanego. Celem podjętych badań była próba odpowiedzi na pytanie, w jaki sposób skrócić proces rozwoju nowego wzoru naczynia szklanego, a więc jak szybciej i bardziej precyzyjnie odzwierciedlić wymagania klienta w zakresie postaci geometrycznej, dostosowania nowego wzoru do możliwości produkcyjnych, jak również linii technologicznej, a przy tym zmniejszyć koszty związane z projektem. Przewidywane usprawnienie wynikać powinno z korelacji zastosowanych technik automatyzacji spotykanych w konfiguratorach produktowych oraz technik komputerowych AR.

1.4. Tezy rozprawy

Mając na uwadze przedstawiony problem badawczy oraz zdefiniowany cel rozprawy, sformułowano następujące tezy pracy:

1. Możliwe jest opracowanie mobilnego konfiguratora modeli naczyń szklanych z zastosowaniem programowej integracji metod poszerzonej rzeczywistości oraz parametrycznych systemów klasy CAx.
2. Zastosowanie konfiguratora zaimplementowanego na urządzeniu mobilnym wpływa na zwiększenie efektywności modelowania dzięki zastosowaniu wizualizacji modelu naczynia na tle jego otoczenia naturalnego.
3. Dzięki specjalnie opracowanemu interfejsowi konfiguratora możliwy jest aktywny udział użytkownika zamawiającego nowy wzór naczynia w procesie jego modelowania.

²W rozumieniu opracowanej przez autora metody oraz opartego na tej metodzie systemu użytkownikiem jest przedstawiciel zamawiającego nowy wzór naczynia szklanego.

1.5. Zakres rozprawy

Rozprawa została podzielona na 8 rozdziałów, obejmujących następujące zagadnienia:

- Rozdział 1 — Ogólny opis problemu badawczego i celu podjętych badań. Przegląd literatury, sformułowanie tez i zakresu rozprawy.
- Rozdział 2 – Opis przedmiotu badań jakim jest proces opracowania środka technicznego, ze szczególnym zwróceniem uwagi na metody komputerowego wspomaganie procesu konstrukcyjnego naczyń szklanych. Omówienie metod automatyzacji dostępnych w zaawansowanych nowoczesnych systemach klasy CAx zarówno poszczególnych działań procesu konstrukcyjnego, jak również całego procesu. Wprowadzenie do dziedziny konfiguratorów produktowych, ich zalet oraz konsekwencji wynikających z ich stosowania. Omówienie problematyki wiedzy w procesie opracowania środka technicznego, jak również zaawansowanych systemów opartych na wiedzy.
- Rozdział 3 – Omówienie technik poszerzonej rzeczywistości, dostępnych bibliotek oraz narzędzi umożliwiających opracowywanie rozwiązań opartych na tych technikach oraz przegląd platform sprzętowych, z użyciem których mogą być wykonywane założone działania.
- Rozdział 4 – Przedstawienie opracowanej metody wspomaganie procesu projektowania naczyń szklanych z zastosowaniem technik AR w oparciu o utworzony system. Omówienie architektury systemu, jego komponentów razem z użytymi środowiskami, na których zostało oparte jego działanie oraz algorytmy jego działania. Przedstawienie sposobu zdefiniowania i opracowania modeli parametrycznych, znaczników oraz graficznego interfejsu użytkownika.
- Rozdział 5 – Opis implementacji metody w praktycznych działaniach projektowych. Ogólny opis działań możliwych do realizacji z użyciem systemu oraz przedstawienie przykładowych scenariuszy działań.
- Rozdział 6 – Omówienie planu działań walidacyjnych przedstawionej metody projektowania naczyń szklanych oraz ocena praktycznej przydatności tej metody. W rozdziale zawarto szczegółową prezentację uczestników i przebiegu badań oraz sposobu oceny. Omówiono środowiska testowe wykorzystane w badaniach oraz przedstawiono szczegółowo zadania realizowane przez uczestników eksperymentu badawczego. Zaprezentowano i omówiono wyniki badań.
- Rozdział 7 – Podsumowanie i wnioski odnoszące się do przeprowadzonych badań oraz postawionych tez rozprawy.

- Rozdział 8 – Omówienie perspektyw rozwojowych oraz kierunków dalszych badań zarówno w obszarze opracowanej metody, jak i systemu działającego według jej założeń.

Rozdział 2

Przegląd istniejącego stanu wiedzy

2.1. Produkt i cykl życia produktu

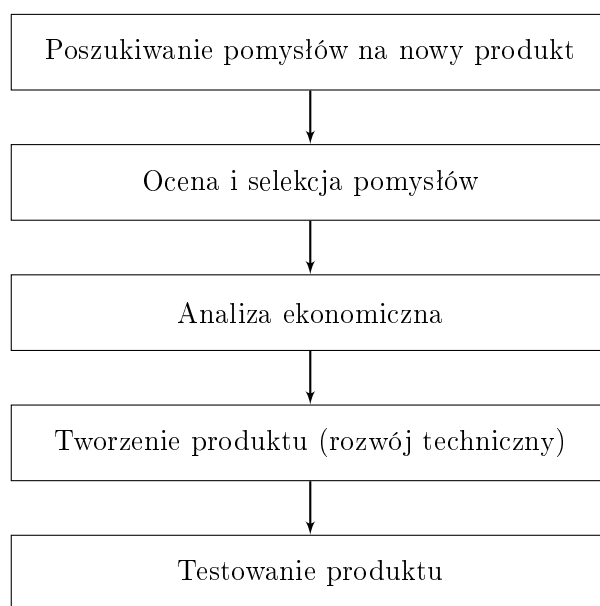
Chcąc lepiej zrozumieć czym jest produkt oraz proces jego rozwoju, warto najpierw zrozumieć szerszy kontekst tych zagadnień, jakim jest cykl życia produktu (ang. *product lifecycle*). Koncepcja cyklu życia produktu wprowadzona została do literatury marketingowej w latach 60. XX wieku (Levitt, 1965; Cox, 1967). Została zapożyczona z nauk biologicznych i stanowi próbę analizowania życia produktu przez analogię do życia organizmów w przyrodzie. Koncepcja ta pozwala uchwycić wiele różnych zmian zachodzących w otoczeniu produktu (pojawianie się produktów konkurencyjnych, zmian preferencji nabywców itp.) oraz działań podejmowanych przez przedsiębiorstwo i ich konsekwencje dla kształtowania się sprzedaży produktu i wyniku finansowego dla przedsiębiorstwa. Cykl życia produktu jest odzwierciedleniem stopniowego nabywania, a następnie tracenia przez niego zdolności do zaspokajania potrzeb i oczekiwań nabywców.

Cykl życia produktu na rynku ma charakterystyczne cechy pozwalające wyodrębnić w nim określone fazy i jest logicznym następstwem procesu opracowania i technicznego rozwoju produktu (Garbarski, 2011).

A zatem proces rozwoju nowego produktu poprzedza rynkowy cykl jego życia i składa się z: poszukiwania pomysłów na nowy produkt, oceny i selekcji pomysłów, analizy ekonomicznej, tworzenia produktu (rozwoju technicznego) oraz testowania produktu (rys. 2.1).

Wynika z tego więc, że techniczny proces rozwoju produktu jest jednym z najważniejszych etapów jego rozwoju. Wybrany i zaakceptowany przez gremia decydujące pomysł produktu jest przekształcany w projekt techniczny, a następnie prototyp lub serię próbną produktu. W etapie tworzenia produktu następuje dopracowanie jego struktury, nadanie odpowiedniej do idei i koncepcji produktu nazwy oraz zaprojektowanie różnych wersji opakowania. Wszystkie te elementy tworzą łącznie kompozycję oferowaną nabywcy do sprzedaży (Garbarski, 2011). Oczywiście jest więc, że etap technicznego procesu rozwoju produktu jest na tyle ważny, że bardzo mocno wpływa na cały cykl życia.

Czym więc jest w tym kontekście produkt? W ujęciu marketingowym stanowi on podstawowy instrument oddziaływania przedsiębiorstwa na potencjalnych odbiorców ich oferty.



Rysunek 2.1: Proces opracowania nowego produktu (opracowanie własne na podstawie (Garbarski, 2011))

Figure 2.1: The process of a new product development (own elaboration based on (Garbarski, 2011))

Produkt¹ można więc zdefiniować jako dobro fizyczne (przedmiot), usługę, osobę, organizację, ideę lub miejsce, zawierające w sobie cechy, które jednostki lub organizacje postrzegają jako niezbędne. Każdy produkt można poddać analizie marketingowej i wyróżnić poszczególne elementy, z których się składa. Według koncepcji marketingowej jest to zestaw cech i właściwości, które mogą służyć do zaspokojenia konkretnych potrzeb przez potencjalnego nabywcę, użytkownika, właściciela produktu lub osobę doświadczającą możliwości korzystania z produktu. Produktem może być więc wszystko to, co można zaoferować na rynku nabywcom i co jest w stanie zaspokoić ich określoną potrzebę lub pragnienie.

Produkt można przedstawić jako zestaw atrybutów materialnych oraz niematerialnych. Materialnymi atrybutami produktu są: projekt, jego cena, sposób działania oraz dostępność. Atrybutami niematerialnymi zaś: wizerunek, wartość oraz sposób postrzegania (Czubała, 2012).

2.2. Komputerowe wspomaganie w procesie rozwoju nowego produktu

Z uwagi na fakt, że na współczesne przedsiębiorstwa produkcyjne nieustannie wywierana jest presja w kierunku poszukiwania nowych dróg zwiększania wydajności produkcji, obniżenia jej kosztów, ciągłego ulepszania produktów oraz podnoszenia ich jakości i zwiększania atrakcyjności, szczególnie istotne są wszystkie te techniki, które pozwalają te cele osiągać. Konieczność ciągłych zmian produktów, jak również zwiększania ich różnorodności i skutecznego wprowadzania na rynek wymagają opracowywania coraz to krótszych cykli ich rozwoju i procesów produkcji.

¹W niniejszej pracy słowa *produkt* i *wytwór* są stosowane zamiennie.

Zmiany systemów wytwórczych powodowane są rozwojem technologii i ich otoczenia, do którego należą również metody i narzędzia usprawniające prace projektowe, wytwórcze i organizacyjne. Proces ten można prześledzić na przykładzie rozwoju technik komputerowych, które dzisiaj wykorzystuje się w każdej fazie rozwoju produktu. Obejmują one zarówno prace badawczo-rozwojowe, jak i etap konstruowania produktu, procesy technologiczne oraz prototypowanie. Techniki komputerowe pozwalają na znaczne usprawnienie organizacji pracy inżynierów i menedżerów (Gollinder-Tarajko, 2010).

2.2.1 Proces projektowo-konstrukcyjny

Najbardziej złożoną i wielotematyczną fazą w całym procesie technicznego rozwoju produktu jest proces projektowo-konstrukcyjny. Jest tak dlatego, że należy w nim uwzględniać aspekty wszystkich kolejnych etapów jego istnienia (Skarka, 2007a).

W polskim języku rozróżnione są dwa terminy: projektowanie i konstruowanie. Projektowanie najogólniej pojmowane jest jako określenie zamierzeń twórczych co do środków technicznych służących zaspokajaniu potrzeb materialnych. Zadaniem projektowania jest zatem taki dobór środków technicznych i wyznaczenie między nimi takich stosunków, aby utworzony w określonych warunkach zewnętrznych układ środków umożliwił osiągnięcie celu przy nakładach gospodarczych nie wyższych od dopuszczalnych (Dietrych, 1971).

Konstruowaniem natomiast nazywamy czynności polegające na dobieraniu konstruowanych cech, które jednoznacznie wyznaczają konstrukcję wytworu jako szczegółową własność, którą jest rozkład struktury zewnętrznej i wewnętrznej układu materialnego i rozkładu stanów tego układu. Innymi słowy konstruowanie polega na dobieraniu cech konstrukcyjnych jako szczegółowych własności tego środka (Dietrych, 1971).

Projektowane jest działaniem ogólniejszym, szerszym od konstruowania i wyprzedzającym konstruowanie, zaś konstruowanie jest na ogół następstwem projektowania i jest działaniem tak szczegółowym, jak to jest konieczne ze względu na wykonanie projektowanego i konstruowanego układu (Dietrych, 1971).

Procesy projektowania i konstruowania występują zawsze w odpowiedzi na zaistniałą, zidentyfikowaną wcześniej potrzebę. Wynikiem procesu projektowania jest system, natomiast wynikiem konstruowania jest konstrukcja. Konstrukcja opisana jest przez zbiór geometrycznych cech konstrukcyjnych (odzwierciedlających zewnętrzną strukturę przyszłego wytworu), cechy tworzywowe (odzwierciedlające strukturę wewnętrzną) oraz cechy montażowe (definiujące stany wytworu) (Dietrych, 1985). Zarówno system jak i konstrukcja są abstraktami. Dopiero w dalszych etapach istnienia środka technicznego - od wytwarzania, zaczynamy mieć do czynienia z konkretnymi. W wyniku procesu wytwarzania powstaje wytwór, który może być użytkowany.

Kategorie procesu projektowego

W procesie projektowo-konstrukcyjnym w zależności od stopnia wykorzystania istniejących danych, informacji oraz wiedzy można wyróżnić trzy podstawowe rodzaje konstrukcji (Pahl et al., 1984; Cichocki, 2001):

- rozwiązanie oryginalne - oznacza opracowanie oryginalnej koncepcji rozwiązania danego problemu technicznego,

- konstrukcja adaptowana - oznacza zaadaptowanie znanego rozwiązania (koncepcja pozostaje ta sama) do zaistniałego problemu technicznego. Pewne elementy mogą zostać zmodyfikowane,
- konstrukcja wariantowa - obejmuje wariantowanie rozmiaru lub/oraz rozmieszczenia pewnych rozwiązań w granicach systemów, ale funkcje oraz rozwiązania pozostają niezmienione. Nie powstają nowe koncepcje rozwiązań w zakresie zmian materiałów, ograniczeń czy też czynników technologicznych.

Ostatni punkt odnosi się również do przypadku, w którym zasada rozwiązania oraz finalna konstrukcja pozostają te same, a różnią się tylko wymiary poszczególnych elementów.

Uwzględniając zaś wiedzę jaką projektant lub konstruktor wnoszą do procesu projektowo-konstrukcyjnego, kategorie projektowania podzielić można w następujący sposób (Dietrych, 1985; Pahl et al., 1984):

- projektowanie i konstruowanie rutynowe,
- projektowanie i konstruowanie nierutynowe
 - twórcze (kreatywne),
 - innowacyjne.

Projektowanie rutynowe określane jest jako działanie polegające na doborze istniejącej informacji konstrukcyjnej lub tylko projektowej ze względu na zidentyfikowaną potrzebę (Dietrych, 1985).

Projektowanie twórcze określone jest jako działanie na utworach mające na celu poszukiwanie zupełnie nowych środków technicznych i dzięki temu wyznaczanie nowych potrzeb (Dietrych, 1985).

Projektowanie innowacyjne określone jest jako stosowanie różnych znanych sposobów projektowania lub konstruowania w celu zastosowania znanych środków technicznych lub też znanych rozwiązań konstrukcyjnych (Dietrych, 1985).

Komputerowe wspomaganie

Najważniejszym powodem szybkiego rozwoju technik związanych z komputerowym wspomaganie procesu projektowo-konstrukcyjnego jest nieustanne dążenie do przyśpieszenia wykonywania działań związanych z opracowywaniem nowych produktów, wprowadzaniem zmian do już istniejących, łatwiejszego ponownego wykorzystania istniejących, szybkiego wariantowania, przeprowadzania zaawansowanych obliczeń oraz automatyzacji działań rutynowych.

Z początkowo stosowanych prostych narzędzi, które stanowiły wirtualną deskę kreślarską, z czasem wykształciły się pakiety zaawansowanych narzędzi informatycznych, które umożliwiają w środowisku wirtualnym opracowywanie kompletnych trójwymiarowych modeli (będących reprezentacją konstrukcji) produktów. Spośród wielu technik i narzędzi komputerowych, stosowanych w zintegrowanym wytwarzaniu, nazwanych też ogólnie CAx, do najważniejszych zalicza się systemy: CAD (*Computer Aided Design*), CAE (*Computer Aided Engineering*) oraz CAM (*Computer Aided Manufacturing*) (Chlebus, 2000). W kontekście CAx często mówi się również o koncepcji CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) (Chlebus, 2000), a więc o komputerowo zintegrowanym wytwarzaniu. Uzupełnieniem koncepcji CIM - obok systemów CAx - są systemy klasy MRP II (*Manufacture Resource Planning*) (Toomey, 2013; Wight, 1995) oraz systemy, które

powstały na ich bazie, czyli ERP (*Enterprise Resource Planning*) (Lech, 2003; Hossain, 2001).

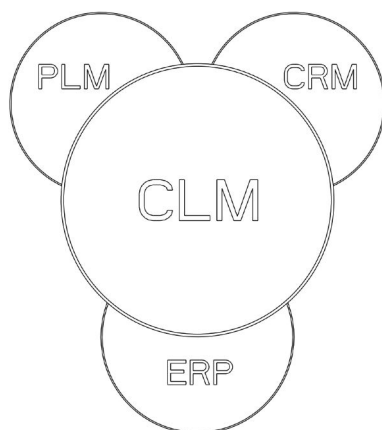
Następstwem rozwoju zaawansowanych narzędzi CAx był rozwój systemów PDM (*Product Data Management*) (Crnkovic et al., 2003), z których w kolejnym kroku wyewoluowały systemy PLM (*Product Lifecycle Management*) (Osland, 1991; Immonen and Saaksvuori, 2013). Systemy klasy PLM w najbardziej kompleksowy i kontrolowany sposób pozwalają rozwijać produkcyjnie wytwarzane produkty, jak również zarządzać wszystkimi danymi, które ich dotyczą (Saaksvuori and Immonen, 2008). Aby to było możliwe, systemy te posiadają wbudowane moduły integracyjne umożliwiające wymianę danych z innymi ważnymi w przedsiębiorstwie systemami, np. z systemami ERP. Warto tutaj również wspomnieć o programach CRM (*Customer Relationship Management*), a więc o systemach służących do kompleksowego zarządzania relacjami z klientem i stanowiących podstawę zintegrowanych działań mających na celu przywiązanie klienta do firmy (Dejnaka, 2002).

Na bazie danych zawartych w systemach PLM oraz ERP tworzone są systemy do zarządzania konfiguracją (ang. *Configuration Management*, CM), które służą do zapewnienia spójności funkcyjnych oraz fizycznych cech produktu z wymaganiami oraz projektem przez cały czas życia produktu (Eigner and Fehrenz, 2011). Jeżeli natomiast oprócz danych zawartych w systemie PLM oraz ERP uwzględniane są dane zawarte w systemie CRM, mówimy wówczas o systemie do zarządzania cyklem życia konfiguracji, który uwzględnia i obejmuje wszystkie procesy biznesowe, jakie zachodzą w organizacji (ang. *Configuration Lifecycle Management*, CLM) (<http://www.configit.com/>, 2017; <http://clmsummit.com/>, 2017). Zależność pomiędzy systemem CLM, a innymi ważnymi systemami w organizacji została pokazana na rysunku 2.2.

Koncepcja CIM zakłada integrację procesu wytwórczego za pomocą danych geometrycznych, konstrukcyjnych, materiałowych i technologicznych. Funkcjonalna integracja technik CAx opiera się na wspólnych modelach danych tworzonych już podczas konstruowania. Podstawowym modelem jest wirtualny model geometryczny wytworu, który jest następnie modyfikowany, rozwijany i uzupełniany w różnych fazach projektowania, planowania i realizacji procesu wytwórczego. Do zapisu i wymiany danych używa się tzw. neutralnych formatów danych, z których kilka zostało uznanych za normę Chlebus (2000). Najpowszechniej stosowanymi neutralnymi formatami wymiany danych są: IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*) (Chlebus, 2000; Hirz et al., 2013) oraz STEP (*Standard for Exchange of Product Model Data*) (Chlebus, 2000; Hirz et al., 2013). Najważniejszym z nich oraz najczęściej używanym obecnie formatem neutralnym jest format STEP (wg normy ISO 10303). Format ten w największym zakresie obejmuje te elementy, które służą opisowi struktury i cech produktu, a więc znajdują najszersze zastosowanie w projektowaniu i we wspomagających je technikach CAx (Chlebus, 2000).

2.2.2 Proces projektowo-konstrukcyjny naczyń szklanych

Przed upowszechnieniem się technik CAx dokumentacja techniczna tworzona była ręcznie i przekazywana była w wersji papierowej. Oprócz oczywistych trudności związanych z długim czasem wykonywania, nanoszenia poprawek, powielania, zarządzania czy też przechowywania, w przypadku naczyń szklanych występowały również inne trudności, mniej oczywiste. Jednym z nich było rysowanie skompli-



Rysunek 2.2: Zależność pomiędzy systemem CLM, a innymi ważnymi systemami w organizacji (opracowanie własne na bazie (<http://www.configit.com/>, 2017))

Figure 2.2: Relationship between CLM class system and other important for organization systems (own elaboration based on (<http://www.configit.com/>, 2017))

kowanych wzorów grawerowanych - czasami artystycznych.

Dużo trudniejsze było jednak dokładne obliczenie pojemności, przyjęcie odpowiednich skurczów technologicznych czy też wprowadzenie właściwych pochyłości umożliwiających otwarcie formy. Operacje, które obecnie są wykonywane za pomocą funkcjonalności dostępnych w systemach klasy CAx, kiedyś, w przypadku naczyń o przekroju innym niż kołowy, stanowiły spore wyzwanie, były bardzo czasochłonne, a i tak były obciążone ryzykiem błędu.

Niektóre z tych trudności zostały rozwiązane poprzez wprowadzenie wirtualnej deski kreślarskiej, czyli pierwszych programów służących do tworzenia dokumentacji 2D. Umożliwiło to przyśpieszenie tworzenia rysunków i łatwiejsze nanoszenie zmian konstrukcyjnych, jednak podstawowe trudności - związane z brakiem wirtualnych modeli geometrycznych - pozostały.

Dopiero zastosowanie programów posiadających możliwość tworzenia objętościowych modeli 3D umożliwiło rewolucję. Po utworzeniu szczegółowego modelu geometrycznego możliwe stało się wszechstronne wielokrotne użycie go w wielu innych obszarach projektowania i wytwarzania (Chlebus, 2000).

Dane, których nośnikami mogą być modele tworzone z zastosowaniem systemów CAx, można podzielić na cztery grupy:

- dane graficzne, definiujące grafikę wektorową 2D i 3D,
- dane geometryczne, reprezentowane przez odpowiednie modele 2D (wymiar, rzuty, adnotacje) lub 3D (modele powierzchniowe, bryłowe, hybrydowe),
- dane rysunkowe, które odnoszą się do poszczególnych rysunków, zazwyczaj wykonawczych lub złożeniowych,
- dane modelu produktu, zawierające strukturę produktu, specyfikację list elementów oraz indeksów list materiałowych, warianty produktu, specyfikację zmian konstrukcyjnych (Chlebus, 2000).

Wraz z pojawieniem się zaawansowanych systemów CAx powstały nowe możliwości w odniesieniu do modelowania również naczyń szklanych. Stosując techniki zaawansowanego modelowania bryłowego oraz powierzchniowego możliwe stało się tworzenie nawet najbardziej złożonych kształtów naczyń, łącznie ze wszystkimi detalami (takimi jak na przykład zdobienia), a dzięki rozbudowanym asocjatywnym modułom służącym do generowania dokumentacji 2D łatwe stało się tworzenie szczegółowych, podatnych na zmiany rysunków.

Modelom można było przypisywać parametry fizyczne szkła (takie jak: masa oraz gęstość) i dzięki temu w bardzo prosty sposób odczytywać wartości objętości całkowitej ze szkłem, objętości mierzonej do poziomu napełnienia naczynia, teoretycznej grubości ścianki, maksymalnego kąta wywrotu, skurczu temperaturowego i wielu innych.

Współcześnie proces projektowo-konstrukcyjny realizowany jest w całości z zastosowaniem zaawansowanych systemów CAx sprzężonych z systemami PDM lub PLM.

Z reguły pierwszym krokiem w takim procesie jest przekazanie do biura konstrukcyjnego szkicu opakowania (w postaci rysunku 2D nowego lub istniejącego naczynia), projektu z agencji projektowej, modelu wirtualnego w formacie neutralnym lub czasami modelu fizycznego naczynia. Oprócz tego zawsze muszą być dołączone dane wejściowe - mogą być przekazane w formie mniej lub bardziej jawnej: w postaci słownych wytycznych lub w postaci dokumentu zawierającego atrybuty projektowanego naczynia. Do najważniejszych danych należą:

- pojemność całkowita,
- pojemność mierzona do poziomu napełnienia,
- wartość poziomu napełnienia,
- masa naczynia,
- pożądaną przez klienta zakres wysokości oraz średnic maksymalnych,
- rozmieszczenie etykiet.

Z uwagi na fakt, że w branży produkcji naczyń szklanych główki są elementami znormalizowanymi, do wytycznych do projektowania zawsze powinna być dołączona informacja o tym, jaka główka powinna być zastosowana lub - jeżeli ma być zastosowana główka niestandardowa - rysunek techniczny nowej główki (Oleszek, 2015d,c). Następnym krokiem jest modelowanie oraz generowanie rysunków 2D - jednego lub wielu wariantów, w zależności od ustaleń z zamawiającym.

Z uwagi na promocyjną rolę, jaką pełnią naczynia szklane, bardzo często proces ich zatwierdzania trwa długo, a w trakcie tego czasu powstaje dużo wariantów różniących się detalami, które z marketingowego punktu widzenia odgrywają bardzo ważną rolę w identyfikacji wizualnej producenta oraz pozycjonowania na rynku produktu - wsadu naczynia. W procesie decyzyjnym najczęściej biorą udział osoby niezwiązane z projektowaniem i konstruowaniem, dlatego często bardzo pomocne w ocenie nowego projektu są fizyczne prototypy.

W związku z powyższym, konstruktorzy naczyń szklanych muszą wykazywać się ogromnym doświadczeniem i elastycznością, gdyż nawet jeśli samo opakowanie nie jest obiektem bardzo złożonym geometrycznie, to konieczność wielokrotnego przebudowywania i generowania nowych wariantów może powodować pewne trudności (Oleszek, 2015c).

Po finalnej akceptacji projektu naczynia następuje rozpoczęcie procesu konstruowania narzędzi do produkcji, a następnie produkcja próbna.

Cechy konstrukcyjne naczyń szklanych

Z przytoczonej definicji konstrukcji wynika, że zidentyfikowanie konstrukcji polega na wyznaczeniu układu struktur i stanów wytworu. Tworzenie teorii konstrukcji doprowadziło do rozpoznania znaczenia cech konstrukcyjnych. Przy tworzeniu konstrukcji konstruktor operuje bezpośrednio tymi cechami. Tak więc identyfikacja cechy konstrukcyjnej polega na doborze postaci konstrukcyjnej i układu wymiarów, gdzie postać konstrukcyjna jest jakościową własnością konstrukcyjną, a układ wymiarów jest sposobem identyfikacji ilościowych własności konstrukcyjnych (Dietrych, 1985).

W procesie projektowo-konstrukcyjnym, technologicznym oraz produkcyjnym opakowań szklanych wykształciło się charakterystyczne nazewnictwo, które obowiązuje w tej branży. Obejmuje ono części składowe naczyń - butelek oraz słoików. Najważniejsze stosowane określenia to:

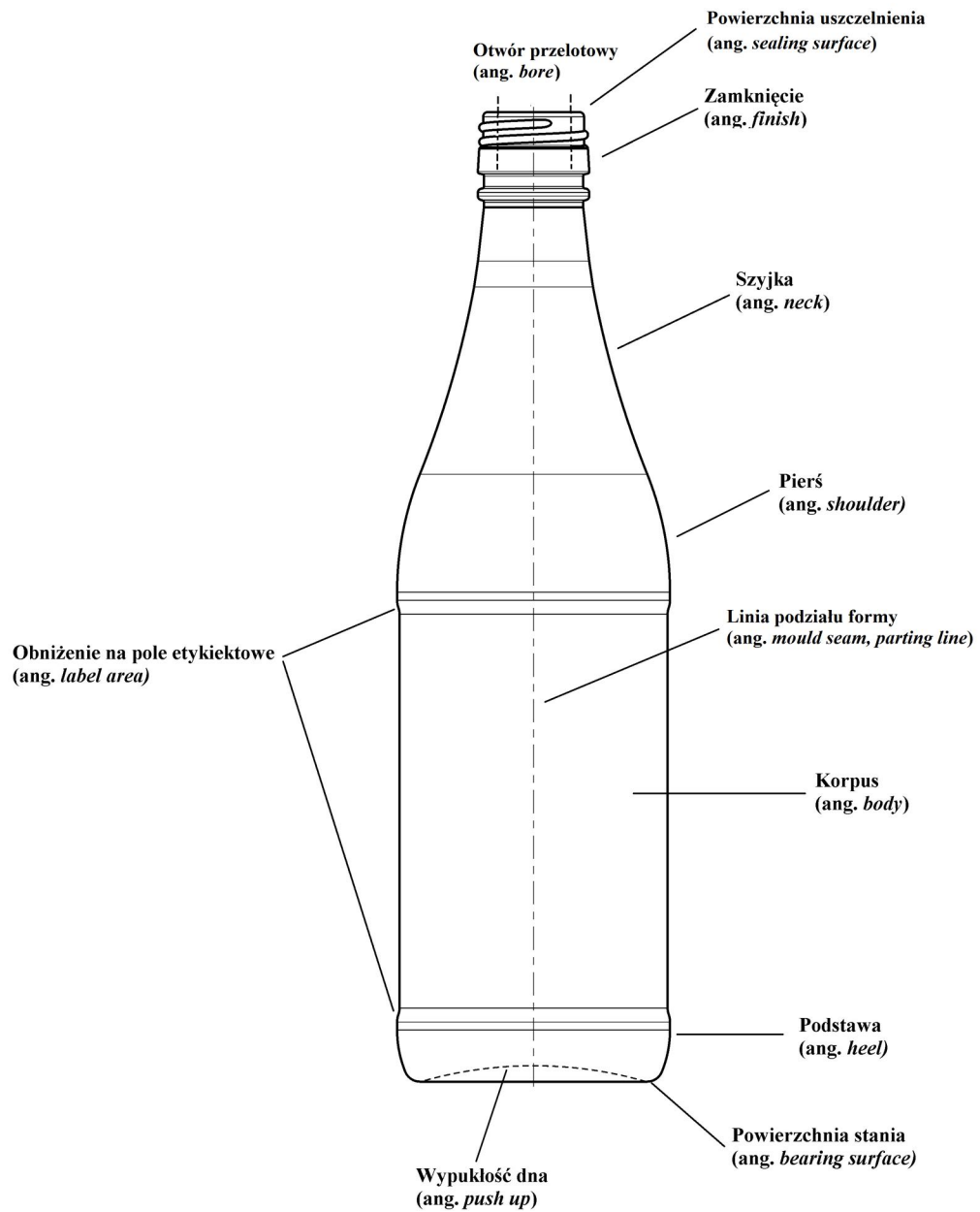
- główka naczynia (ang. *finish*),
- powierzchnia uszczelnienia (ang. *sealing surface*),
- otwór przelotowy (ang. *bore*),
- szyjka (ang. *neck*),
- pierś (ang. *shoulder*),
- korpus (ang. *body*),
- linia podziału formy (ang. *mould seam, parting line*),
- obniżenie na pole etykietowe (ang. *label area*),
- podstawa (ang. *heel*),
- powierzchnia stania (ang. *bearing surface*),
- wypukłość dna (ang. *push up*).

Wymienione elementy zostały przedstawione na rysunku 2.3.

Poza wyżej wymienionymi nazwami, spotykane są jeszcze inne, dotyczące opcjonalnych części opakowań jak na przykład: zaczep pozycjonujący (ang. *spotting bar*), moletka (ang. *knurling*), tzw. grawerka, a więc ozdobny element grawerowany (ang. *decoration, engraving*) lub też elementów związanych z oznaczaniem naczyń: kod kropkowy (ang. *dots code*) oraz grawerowany napis z oznaczeniami pojemności, numeru formy itp. (ang. *lettering*).

Najczęściej spotykane kształty naczyń to (Emblem, 2012):

- cylindryczny,
- eliptyczny (ze stosunkiem pól wielkiej do pól małej wynoszącym 2:1),
- kwadratowy z okrągłymi narożami,
- kwadratowy z ostrymi narożami.



Rysunek 2.3: Nomenklatura naczyń szklanych (opracowanie własne na podstawie (Robertson, 2016; Emblem, 2012; Coles and Kirwan, 2011))

Figure 2.3: Glass container terminology (own elaboration based on (Robertson, 2016; Emblem, 2012; Coles and Kirwan, 2011))

Jedną z najważniejszych części naczynia szklanego jest zamknięcie. Zamknięcia, z uwagi na fakt, że współpracują i są ściśle powiązane z nakrywkami (ang. *closures*), są elementami znormalizowanymi. Najważniejsze typy zamknięć wg CETIE (fr. *Centre Technique international de l'Embouteillage et du Conditionnement*, Międzynarodowe Techniczne Centrum Naczyń i Zamknięć) to (www.cetie.org, 2017):

- zamknięcia koronowe (ang. *Crown finishes*),
- gwintowane zamknięcia koronowe (ang. *Threaded crown finishes*),
- zamknięcia podciśnieniowe przeznaczone do butelek oraz zamknięć o dużej średnicy przeznaczonych do słoików (ang. *Vacuum lug finish for bottles and wide mouth jars*),
- gwintowane zamknięcia z zabezpieczeniem (ang. *Pilferproof threaded finishes*),
- gwintowane zamknięcia przeznaczone do produktów wysokociśnieniowych (ang. *Threaded finishes for pressurised beverages*),
- zamknięcia zaciskowe (ang. *Crimp-on finishes*),
- zamknięcia na korek (ang. *Cork mouth finishes*).

W trakcie procesu projektowo-konstrukcyjnego naczyń uwzględniane są pewne czynniki konstrukcyjne, które bardzo mocno wpływają na finalny wytwór. Najważniejsze z nich to (Emblem, 2012):

- wartość kąta wywrotu (zależna między innymi od położenia środka ciężkości naczynia) (ang. *tilt angle*),
- teoretyczna grubość ścianki (ang. *wall thickness*),
- poziom napełnienia (ang. *fill point*),
- wysokość górnej oraz dolnej powierzchni styku.

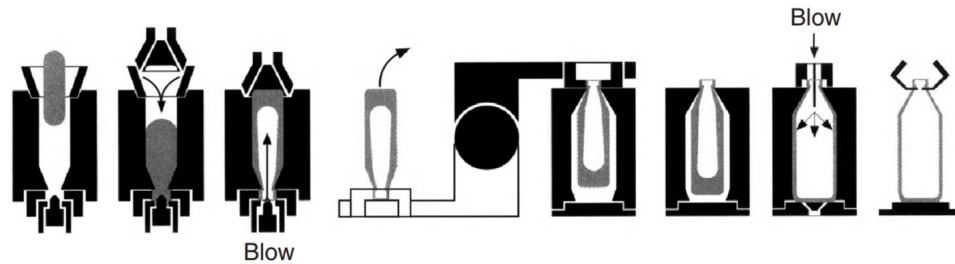
Technologiczność naczyń szklanych

Według (Dietrych, 1985) technologia stanowi zrationalizowaną technikę, a więc wiedzę o sposobach operowania materia opartą na podstawach naukowych. Termin technologia możemy więc zastąpić terminem techniki wytwarzania. W związku z tym technologiczność możemy tłumaczyć jako jedną z racji stanowiących uzasadnienie wytworu, uzasadnienie tego, że podejmujemy się jego wytwarzania (Dietrych, 1971).

Poprzez termin naczynie szklane w ujęciu tej pracy rozumiane są: naczynia wąskootworowe, szerokootworowe, ampułki oraz fiołki i pojemniki aerozolowe. Te typy naczyń stosowane są w przemysłach: spożywczym, farmaceutycznym, chemicznym oraz kosmetycznym.

Do produkcji naczyń stosowane są szkła z układu $SiO_2 - Na_2O - CaO$ o trzech kolorach: bezbarwnym, zielonym oraz brunatnym.

Najważniejszymi elementami procesu produkcyjnego opakowań szklanych są: piec do topienia szkła, zasilacze, którymi szkło doprowadzane jest z pieca do automatów, oraz automaty szklarskie, na których odbywa się formowanie opakowań



Rysunek 2.4: Przebieg procesu formowania naczynia szklanego metodą B&B (Robertson, 2016; Coles and Kirwan, 2011)

Figure 2.4: B&B glass container forming process (Robertson, 2016; Coles and Kirwan, 2011)

z doprowadzonej przez zasilacz masy szklanej. Ta część procesu w nomenklaturze stosowanej w przemyśle szklarskim nazywa się *gorącym końcem* (ang. *hot end*). Istnieje również druga część, określana mianem *zimnego końca* (ang. *cold end*) i odnosi się do części procesu produkcyjnego, w której odbywają się procesy związane z uszlachetnianiem opakowań na zimno, badaniami jakościowymi, pakowaniem itd.

Celem procesu topienia w piecu jest przekształcenie wymieszanych surowców szklarskich sporządzonych według ustalonej receptury w płynny stop masy szklanej o odpowiedniej czystości i jednorodności oraz doprowadzenie jej do temperatury odpowiadającej wymogom procesu formowania.

Poprzez formowanie rozumiane jest przekształcenie zbliżonej do cylindra kropli szkła o określonej masie i temperaturze w gotowe naczynie (np. butelkę lub słoik) (Robertson, 2016).

Rozróżnia się trzy główne i najpowszechniej stosowane technologie formowania naczyń szklanych (Robertson, 2016; Coles and Kirwan, 2011):

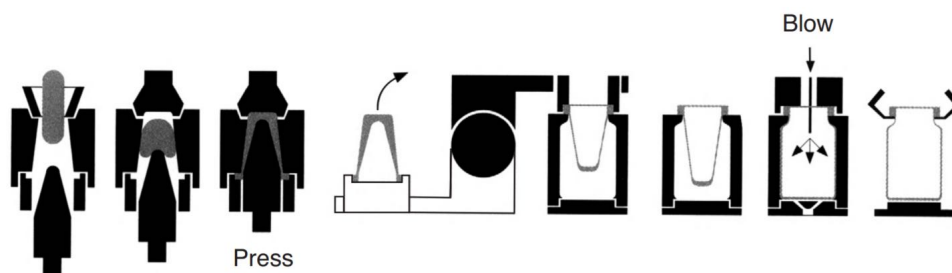
- B&B (ang. *Blow - Blow*) – stosowana głównie do produkcji butelek,
- P&B lub WMP&B (ang. *Press - Blow, Wide Mouth Press and Blow*) – do produkcji naczyń o dużych otworach przelotowych – głównie słoików,
- NNP&B (ang. *Narrow Neck Press Blow*) – do produkcji butelek o małych otworach przelotowych metodą cienkościenną.

Niezależnie od metody, przebieg procesu formowania zawsze składa się z dwóch części: formowania wstępnego - tzw. strony przedformy - podczas którego następuje utworzenie wstępnego kształtu naczynia, tzw. bańki, oraz formowania finalnego - tzw. strony formy - podczas którego zostaje utworzony ostateczny kształt naczynia. Temperatura formowania po stronie formy wynosi około 650°C (Emblem, 2012; Coles and Kirwan, 2011; Robertson, 2016). Przebieg każdej z wymienionych metod został pokazany na rysunkach 2.4, 2.5 oraz 2.6.

Poszczególne etapy technologii B&B są następujące (Robertson, 2016; Emblem, 2012):

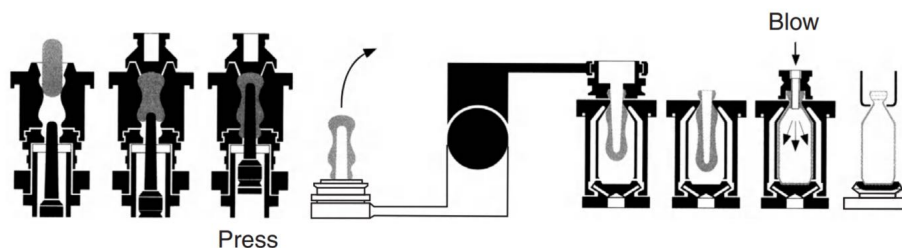
1. ładowanie kropli do przedformy,
2. dmuch osadzający, formowanie główki,
3. dmuch formujący fason przedformy (tzw. bańkę),

4. przełożenie wstępnie uformowanego kształtu naczynia na stronę formy,
5. stabilizowanie i płynięcie bańki w formie,
6. finalny dmuch formujący naczynie,
7. odebranie gotowego naczynia z formy i umieszczenie go na transporterze.



Rysunek 2.5: Przebieg procesu formowania naczynia szklanego metodą P&B (Robertson, 2016; Coles and Kirwan, 2011)

Figure 2.5: P&B glass container forming process (Robertson, 2016; Coles and Kirwan, 2011)



Rysunek 2.6: Przebieg procesu formowania naczynia szklanego metodą NNP&B (Robertson, 2016; Coles and Kirwan, 2011)

Figure 2.6: NNP&B glass container forming process (Robertson, 2016; Coles and Kirwan, 2011)

Technologie P&B oraz NNP&B są do siebie zbliżone i w związku z tym poszczególne kroki procesu w tych metodach w ogólnym ujęciu nie różnią się od siebie. Metoda P&B najbardziej dostosowana jest do produkcji naczyń o średnicy otworu przelotowego ≥ 35 mm (Coles and Kirwan, 2011; Robertson, 2016), dlatego główne różnice występują w konstrukcji narzędzi formujących. Tak więc w obydwu tych metodach etapy są następujące (Robertson, 2016; Emblem, 2012):

1. ładowanie kropli do przeformy,
2. wytłaczanie kształtu przedformy (tzw. bańki), formowanie główki,
3. przełożenie wstępnie uformowanego kształtu naczynia (bańki) na stronę formy,
4. płynięcie bańki w formie,
5. finalny dmuch formujący naczynie,

6. odebranie gotowego naczynia z formy i umieszczenie go na transporterze.

Po stronie zimnego końca odbywa się kontrola jakości wyprodukowanych naczyń. Spośród bardzo wielu badań, które mają na celu stwierdzenie wad związanych ze stroną wizualną (barwa, pęcherze) lub z bezpieczeństwem (zawartość odłamków szkła wewnątrz naczynia), badane są również parametry takie jak (Robertson, 2016; Emblem, 2012; Coles and Kirwan, 2011):

- grubość ścianki w określonych miejscach naczynia,
- dystrybucja szkła w ściankach na wysokości oraz na średnicy,
- udarność,
- wytrzymałość na obciążenie pionowe,
- odporność na szok temperaturowy,
- pojemność,
- poprawność wymiarowa naczynia,
- poprawność wymiarowa główki,
- wytrzymałość na rozrywanie.

2.2.3 Metody automatyzacji procesu projektowo-konstrukcyjnego

Jednym z najważniejszych wymagań współczesnego rynku jest dostarczenie klientom wytworów o wysokiej jakości i niezawodności, w możliwie najkrótszym czasie realizacji zamówienia (Wyleżoń, 2005a). Dynamiczny rozwój nauk związanych z technikami komputerowymi oraz systemami CAx sprzyja powstawaniu wielu zaawansowanych narzędzi komputerowych, które rzucają nowe światło na proces projektowania. Jednak konsekwencją stale wzrastających możliwości systemów CAx są również coraz większe wymagania wobec konstruktorów - oczekuje się, że proces projektowo-konstrukcyjny będzie trwał coraz krócej. Tworzenie modeli, definiowanie możliwych do zaistnienia przypadków i tworzenie zależności może być bardzo wymagającym i czasochłonnym zajęciem – nawet z użyciem najbardziej zaawansowanych systemów CAx (Czyżewski, 2010).

Bardzo obciążające i czasochłonne jest również wielokrotne tworzenie takich samych lub bardzo podobnych części modeli lub całych elementów. Są to czynności rutynowe, które nie stanowią wyzwania intelektualnego, ale z różnych powodów konstruktor musi przejść przez dany etap modelowania, żeby rozpocząć kolejny. Dzieje się tak na przykład podczas konieczności tworzenia wirtualnych modeli maszyn i ich elementów składowych, gdyż wiąże się to z odwzorowaniem ich znormalizowanych elementów (wpustów, kołków, elementów mocujących itp.) lub części (rowków wpustowych, podcięć technologicznych, wielowypustów, czopów końcowych, rowków pod pierścienie osadcze itp.). Znormalizowane elementy w danym typoszeregu wymiarowym są zwykle takie same, natomiast poszczególne elementy typoszeregu różnią się układem wymiarów. Dlatego też ich odwzorowanie podczas wykonywania wirtualnych modeli jest zwykle procesem czasochłonnym i mało twórczym. Zauważono to już na początku powstawania pierwszych systemów CAD, które miały znacznie przyczynić się do zwiększenia efektywności

procesu konstrukcyjnego, w szczególności zapisu konstrukcji. Potrzeba wykonywania tych samych fragmentów rysunków 2D, a potem również modeli 3D wpływała raczej na zmniejszenie tej efektywności. Naturalna wydawała się więc automatyzacja tworzenia takich, powtarzających się fragmentów rysunków 2D czy modeli 3D (Wyleźń, 2005b).

Z uwagi na fakt, że każda branża przemysłu ma specyficzne potrzeby, pewne programy sprawdzają się w danych zastosowaniach lepiej, niż inne, ale najczęściej żaden nie jest dostosowany do szczegółowych potrzeb danej branży. Dlatego właśnie systemy CAx tworzone są w sposób, który w jak najmniejszym stopniu ograniczałby możliwości ich użycia, a dodatkowo posiadają wbudowane mechanizmy oraz funkcjonalności umożliwiające dostosowywanie ich do istniejących potrzeb. W związku z tym większość zaawansowanych systemów CAx posiada (Oleszek, 2015a):

- możliwości zaawansowanego parametryzowania,
- możliwość modelowania opartego na cechach (ang. *feature-based modelling*),
- możliwość tworzenia w modelach oraz złożeniach reguł, relacji oraz implementowania wiedzy,
- narzędzia do modelowania szkieletowego oraz kontekstowego,
- możliwość wymiany danych z innymi programami, np. bazami danych lub arkuszami kalkulacyjnymi,
- możliwość zarządzania wariantami oraz konfiguracjami modeli,
- interfejsy programistyczne,
- narzędzia do tworzenia makr².

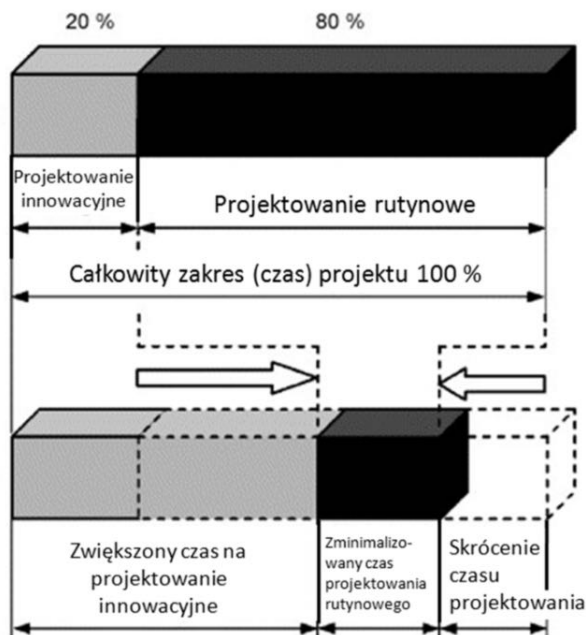
Korzystając z tych możliwości pewne procesy można zautomatyzować. Dużą zaletą takiej automatyzacji - oprócz znacznego ułatwienia oraz skrócenia czasu realizacji działań - jest eliminacja błędów. Umożliwia to zastosowanie elementów wiedzy konstrukcyjnej, reprezentowanej np. poprzez reguły i formuły matematyczne (Wyleźń, 2003).

Wiedza, która jest bardzo istotna dla rozwoju wytworu, zapisywana jest w całym procesie projektowo-konstrukcyjnym. Zapisanie, gromadzenie i integracja części danych, informacji i wiedzy pozwala na znaczne zwiększenie efektywności procesu projektowo-konstrukcyjnego, stanowiąc podstawę intelektualnych zasobów jednostek zajmujących się rozwojem wytworów (Skarka, 2005). Rozproszenie wiedzy w katalogach, bazach danych, zbiorach, schematach lub też w umysłach specjalistów może stanowić poważny czynnik negatywnie wpływający na czas realizacji zadań projektowych (Oleszek, 2015a).

Reasumując, współczesne systemy CAx posiadają bardzo bogate możliwości automatyzacji działań projektowych, a stosowanie tych możliwości ma na celu:

- skrócenie czasu trwania procesu projektowo-konstrukcyjnego poprzez zautomatyzowanie powtarzających się operacji,

²Makra również są formą zastosowania interfejsu programistycznego w systemie CAx, lecz w odróżnieniu od zewnętrznego API, obsługiwane są przez wbudowane w systemy CAx interfejsy lub są oparte na dedykowanych językach skryptowych



Rysunek 2.7: Korzyści ze stosowania automatyzacji działań projektowych oraz ze stosowania wiedzy w procesie projektowo-konstrukcyjnym (Skarka, 2007a)

Figure 2.7: Advantages of design processes automation and using knowledge in a design process (Skarka, 2007a)

- zwiększenie efektywności konstruktorów poprzez odciążenie ich od czynności rutynowych i mało twórczych,
- zapis i wielokrotne wykorzystanie wiedzy konstrukcyjnej,
- eliminację błędów,
- szybkie generowanie wariantów modeli,
- automatyczną propagację zmian konstrukcyjnych w obrębie projektu.

Warto zaznaczyć, że głównym i najważniejszym celem stosowania metod automatyzacji działań projektowych jest lepsze wykorzystanie najcenniejszych zasobów przedsiębiorstw, którymi niewątpliwie są inżynierowie, poprzez skoncentrowanie ich potencjału na działaniach kreatywnych. W efekcie pozwala to na opracowywanie bardziej innowacyjnych projektów, a jednocześnie cały proces ulega skróceniu. Zależność ta została pokazana na rysunku 2.7.

Co więcej, od inżynierów wymaga się równocześnie bardzo specjalistycznej wiedzy dotyczącej obsługi systemów, których używają. Wiedza dziedzinowa oraz informatyczna inżynierów często jest też powodem pewnych problemów w jednokierunkowej komunikacji pomiędzy nimi, a decydentami. Stosowanie automatyzacji może w pewnych przypadkach umożliwić korzystanie z pewnych zaawansowanych narzędzi osobom, które nie posiadają zaawansowanej wiedzy, gdyż może być ona zastosowana w narzędziach, które mogą być obsługiwane z poziomu interfejsu użytkownika.

Parametryzacja oraz modelowanie oparte na parametrycznych cechach postaciowych

Modelowanie parametryczne (ang. *parametric modelling*), inaczej nazywane modelowaniem opartym na więzach (ang. *constraint modelling*), polega na zdefiniowaniu oraz wzajemnym powiązaniu części modelu wirtualnego, a następnie manipulowaniu nimi poprzez skoordynowaną zmianę w celu uzyskania określonej postaci geometrycznej lub określonych własności fizycznych. Kształt modelu jest wtedy funkcją danego zestawu parametrów oraz więzów.

Modelowanie parametryczne zawiera w sobie dwa składowe pojęcia: więzy (ang. *constraints*) oraz cechy geometryczne (ang. *features*).

Każdy system parametryczny opiera się na podejściu polegającym na rozwiązywaniu zadań związanych z więzami. Wyróżniamy następujące typy więzów (Farin et al., 2002; Shah and Mäntylä, 1995; Hoffmann, Hoffmann):

- relacje geometryczne (np. koncentryczność, prostopadłość, styczność itp.),
- więzy wymiarowe (np. długość, pochylenie itp.),
- równania, które wyrażają powiązania pomiędzy wymiarami geometrycznymi, a zmiennymi technologicznymi, jak np. grubość ścianki,
- więzy semantyczne, które definiują poprawność warunków określających kształt, np. czy kontur nie przecina sam siebie lub czy uchwyt w modelu szuflady jest skierowany do zewnątrz czy do wewnątrz,
- związki topologiczne pomiędzy jednostkami w profilu lub modelu, np. ciągłość, przyleganie.

Modelowanie oparte na więzach rozpoczyna się od definiowania przez użytkownika profilu na płaszczyźnie lub jednej ze ścian istniejącego elementu. Poprzez definiowanie rozumiemy narysowanie kształtu, określenie różnych typów więzów, które następnie muszą być rozwiązane i zaakceptowane przez narzędzie do rozwiązywania więzów (ang. *constraint solver*) danej aplikacji CAD. Ostatecznie na bazie profilu tworzona jest cecha geometryczna (bryłowa lub powierzchniowa) z użyciem operacji na przykład wyciągnięcia, obrotu, wycięcia, przeciągnięcia itd.

Warunkiem zadziałania algorytmów odpowiedzialnych za rozwiązanie zagadnień związanych z więzami jest określenie wszystkich więzów w narysowanym profilu. W większości systemów niedookreślone więzy są akceptowane (są wtedy dookreślane przez dany system), podczas gdy profile z nadmiarową liczbą więzów są z reguły odrzucane.

Istnieją następujące podejścia i sposoby rozwiązywania zagadnień związanych z więzami ((Woodbury, 2010; Farin et al., 2002; Joan-Arinyo, 2009; Hoffmann, Hoffmann)):

- metoda oparta na równaniach (ang. *equational methods*),
- podejście numeryczne (ang. *numerical approach*),
- podejście symboliczne (ang. *symbolic approach*),
- oparte na grafach (ang. *graph-based approach*),
- logiczne (ang. *logic-based approach*),

- oparte na propagacji (ang. *propagation-based approach*),
- metody konstrukcyjne (ang. *constructive methods*),
- metody oparte na regułach (ang. *rule-based approach*),
- analiza stopni swobody (ang. *degrees of freedom analysis*).

Drugim z zagadnień (obok więzów), które jest bardzo mocno związane z ideą modelowania parametrycznego jest pojęcie parametrycznej cechy postaciowej. Ideą modelowania opartego na parametrycznych cechach postaciowych (ang. *feature-based design*) jest uproszczenie struktury modelu poprzez częściową dyskretyzację wybranych elementów. Innymi słowy cechą konstrukcyjną definiowaną w taki sposób można określić jako znaczącą abstrakcję pewnego fragmentu geometrii (np. gwintowanego otworu, zaokrąglenia itd.). W nowoczesnych systemach CAx zostało to odwzorowane poprzez funkcjonalności wywoływane z interfejsu użytkownika zawierające: sparametryzowaną geometrię, przypisane atrybuty oraz więzy. Takie podejście w pewnym stopniu odnosi się do idei konfiguracji (będącej obszarem zainteresowania autora), gdyż użytkownik buduje model poprzez dokładanie kolejnych parametrycznych cech, określając miejsca, w których mają się one znaleźć oraz wpisując wartości parametrów w polach interfejsu.

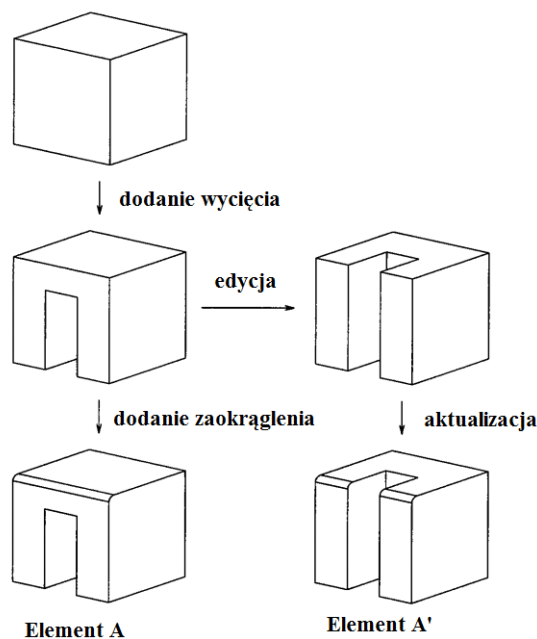
Zalety tej metody to:

- uproszczenie struktury modelu poprzez grupowanie wybranych jego części składowych,
- uporządkowanie struktury - poszczególne cechy mają nadawane określone nazwy, a ich struktura jest taka sama,
- przyśpieszenie procesu tworzenia modelu poprzez zmniejszenie liczby koniecznych do wykonania czynności oraz liczby więzów i parametrów koniecznych do określenia,
- możliwość tworzenia własnych baz cech konstrukcyjnych.

Rozwinięciem tego podejścia są systemy oparte na projektowaniu w oparciu o parametryczne cechy postaciowe oraz możliwość tworzenia własnych bibliotek predefiniowanych parametrycznych cech postaciowych (Shen et al., 2003; Farin et al., 2002; Hoffmann, Hoffmann). Uwzględniając charakter oraz właściwości tak definiowanych parametrycznych cech można wyróżnić następujące scenariusze operacji edycji modelu (Chen and Hoffmann, 1995):

- dodawanie lub usuwanie cech konstrukcyjnych,
- zmianę atrybutów cech konstrukcyjnych, np. zmiana otworu z przelotowego na otwór o określonej długości,
- zmiana wymiarów otworu lub wymiarów umiejscowienia otworu,
- zmiana kształtu przekroju otworu (profilu, na bazie którego powstał otwór).

Mając na uwadze charakter modelowania parametrycznego, a więc fakt, że każda operacja może mieć wpływ na następne oraz fakt, że po zaktualizowaniu modelu, w którym zostały wprowadzone zmiany, powstaje jego nowe wystąpienie, mają miejsce sytuacje, w których pewne elementy geometrii w kolejnych wystąpieniach



Rysunek 2.8: Istniejąca krawędź znika po dodaniu operacji zaokrąglenia, a następnie, po edycji operacji usunięcia materiału zostaje podzielona na dwie części (Chen and Hoffmann, 1995)

Figure 2.8: Existing edge had disappeared when roundness was created, then was divided into two parts after subtraction of material (Chen and Hoffmann, 1995)

modelu mogą zmieniać swoją postać lub zupełnie zniknąć. Dzieje się tak na przykład w takich sytuacjach, gdy krawędź dzielona jest wycięciem, dodawane jest zaokrąglenie, wybierany jest fragment geometrii, który zawierał wierzchołek lub element zmienia swoje położenie z jednego płata powierzchni na inny. Opisane sytuacje zostały przedstawione na rysunkach 2.8, 2.9 i 2.10. Konsekwencją tego jest złożony problem określany jako trwałe nazewnictwo (ang. *persistent naming*). Istotą tego zagadnienia jest konieczność istnienia w systemach parametrycznych mechanizmu, który zapewniałby logiczne powiązanie pomiędzy elementami geometrii (takimi jak np. krawędzie, wierzchołki, powierzchnie itd.) w nowym kontekście, który pojawia się po wprowadzeniu zmian w modelu i pojawieniu się jego nowego wystąpienia. Mechanizm ten powinien zapewniać zachowanie powiązań pomiędzy cechami (utworzonymi wcześniej i później, czyli rodzicami oraz dziećmi) (Agbodan et al., 2000), a w przypadku niejednoznacznych sytuacji powinien umożliwić użytkownikowi podjęcie decyzji i wskazanie nowych powiązań.

W literaturze zostało zaproponowanych oraz opisanych wiele rozwiązań, które można znaleźć w (Kripac, 1997; Capoyleas et al., 1996; Raghorthama and Shapiro, 1998; Chen, 1995). Szczegółowy opis tych rozwiązań nie należy jednak do zakresu niniejszej pracy.

Reasumując, podstawową ideą parametryzacji jest możliwość sterowania postacią modelu przez zmianę wartości przyporządkowanych cechom lub zmianę więzów. Zmiany te są następnie aktualizowane i wprowadzane do innych powiązanych części w modelu (lub elementów w złożeniu).

Historia modelu reprezentowana jest przez drzewo struktury modelu (ang. *model tree*), co wiąże się z zagadnieniem budowania zależności rodzic-dziecko (ang.

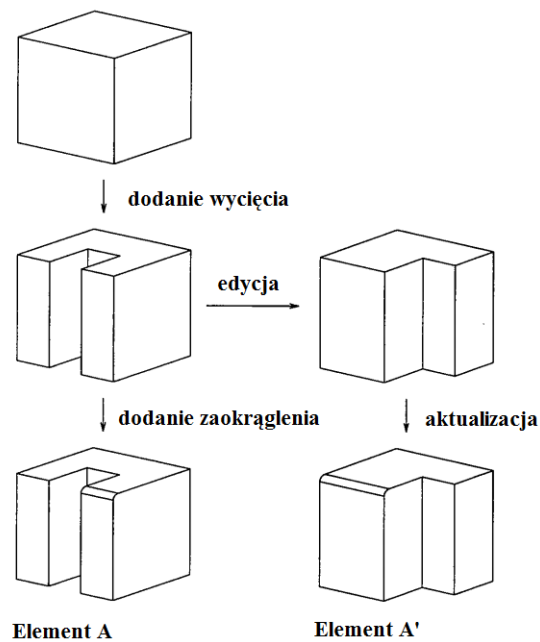
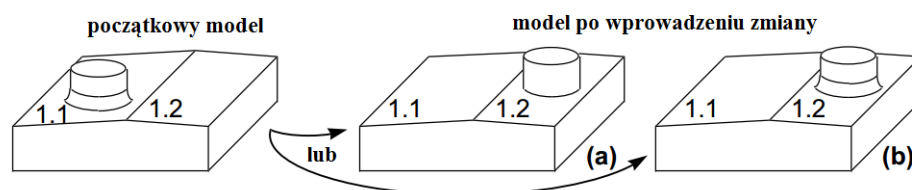


Figure 2.9: When subtraction of material feature had been edited, vertex disappeared and roundness feature was moved to the left edge (Chen and Hoffmann, 1995)



Rysunek 2.10: W wyniku edycji walec razem z zaokrągleniem zostaje przeniesiony na drugą powierzchnię elementu, w wyniku czego możliwe są dwa rozwiązania: zaokrąglenie zostanie usunięte lub przeniesione razem z walcem (Agbodan et al., 2000)

Figure 2.10: As a result of editing operation, cylinder with roundness feature was moved to the second plane of the element and the are two possible solutions: deleting of roundness feature or moving it together with the cylinder (Agbodan et al., 2000)

parent/children relationship), z której wynika, że każda kolejna cecha (dziecko) musi być powiązana zależnością z jedną lub większą liczbą wcześniej utworzonych cech (rodzicem). Każda zmiana rodzica skutkuje zatem zmianą w dziecku.

Te funkcjonalności umożliwiają użytkownikowi tworzenie kompatybilnych geometrycznie modeli oraz ich złożań, jednak wymagają od niego przestrzegania przyjętych założeń konstrukcyjnych (ang. *design intent*) oraz przewidywania, jak model może być przebudowywany w przyszłości (Oleszek, 2015b). Producenci oprogramowania CAD zobligowani są natomiast do stosowania mechanizmów rozwiązywania złożonych zagadnień związanych z więzami oraz z trwałym nazewnictwem.

Funkcjonalności oparte na wiedzy konstrukcyjnej

Oprócz parametryzacji oraz modelowania opartego na cechach konstrukcyjnych, do zaawansowanych funkcjonalności współczesnych systemów klasy CAX umożliwiających zastosowanie wiedzy konstrukcyjnej można jeszcze zaliczyć:

- możliwość integrowania w modelach relacji oraz równań matematycznych, jak również reguł logicznych, jak np. sprawdzeń, warunków itd.,
- możliwość integrowania procedur i makr obliczeniowych do automatycznego generowania geometrii poprzez wbudowane języki programowania,
- możliwość stosowania szablonów służących do modelowania szkieletowego oraz kontekstowego,
- możliwość wymiany danych z innymi programami, np. bazami danych lub arkuszami kalkulacyjnymi.

Stosowanie równań matematycznych oraz relacji logicznych w modelach parametrycznych umożliwia znaczące zwiększenie wykorzystania ich potencjału. Wiązanie parametrów za pomocą równań matematycznych oraz przydzielanie im warunków umożliwia większą kontrolę nad geometrią poprzez wprowadzanie mniejszej liczby danych. Oprócz tego, pozwala obliczać na bazie geometrii także inne dane, np. związane z materiałem lub procesem technologicznym (Hirz et al., 2013).

Procedury oraz makra automatycznie generujące geometrię oraz bardziej zaawansowane procedury obliczeniowe integrowane są z modelem za pośrednictwem wbudowanych funkcjonalności w postaci dedykowanych języków skryptowych lub zaadoptowanych języków programowania, np. Visual Basic for Applications (VBA), które są skonfigurowane w zależności od wymagań oraz logiki danej aplikacji CAX. Wykonują one zaprogramowane sekwencje: wczytania danych w postaci parametrów zdefiniowanych lub wynikających z danego stanu geometrii), przetworzenia ich oraz zwrócenia wyników. Etap przetwarzania zawiera automatyczne obliczenia lub automatyczne generowanie elementów geometrycznych, podczas gdy etap zwracania wyników obejmuje wyświetlenie wyników lub geometrii na ekranie oraz ich zapis w lokalizacji. Często procedury oraz makra są implementowane w szablonach projektowych i wymagają stałego nadzoru oraz aktualizacji (Hirz et al., 2013; Skarka, 2007a).

Szablony modeli przygotowywane są do wielokrotnego używania i w związku z tym zawierają specyficzną dla danego zastosowania wiedzę. Metody związane ze stosowaniem szablonów wykorzystywane są w różnych dziedzinach, np. w projektowaniu, symulacjach czy też w rozwoju oprogramowania.

W rozumieniu niniejszej pracy szablon rozumiany jest jako predefiniowana struktura złożenia lub geometrii modelu, która może być uzupełniana o dodatkowe elementy (Hirz et al., 2013). Poprzez geometrię może być rozumiana struktura w postaci płaszczyzn oraz punktów, jak również może być to także układ profili (ang. *layout*) definiujący rozmieszczenie głównych elementów modelu lub złożenia.

Modele ze wstępnie zdefiniowaną geometrią nazywane są modelami szkieletowymi (ang. *skeletal models*). Szablony mogą również zawierać zdefiniowaną strukturę drzewa historii, listę parametrów oraz reguł, relacji oraz makr.

W przypadku szablonów złożenia może być również zdefiniowana w powiązaniu z modelem szkieletowym wielopoziomowa lista elementów tego złożenia, która obejmuje cały proces projektowy. Zdefiniowane w szablonie złożenia parametry definiowane są na właściwych poziomach i propagowane na elementy, dzięki czemu łatwiej nimi zarządzać.

Projektowanie z zastosowaniem szablonów w postaci modeli szkieletowych przebiega najczęściej w następujący sposób (Hirz et al., 2013):

1. Wybór właściwego szablonu złożenia w postaci modelu szkieletowego,
2. Dopasowanie szablonu złożenia do warunków geometrycznych projektu,
3. Wybór ze struktury złożenia oraz wyświetlenie właściwego szablonu elementu,
4. Dopasowanie szablonu elementu do warunków geometrycznych projektu,
5. Dobudowywanie w szablonie kolejnych części modelu.

Możliwość wymiany danych systemów CAx z aplikacjami zewnętrznymi sprawia, że procesy projektowe mogą być bardziej zautomatyzowane i przyjazne dla użytkownika. Wymiana danych z arkuszami kalkulacyjnymi oraz edytorami tekstowymi umożliwia sterowanie za pomocą tych aplikacji parametrami modelu. Dzięki temu możliwe jest definiowanie oraz zapisywanie parametrów w bazie danych zintegrowanej z systemem CAx, a następnie przetwarzanie tych danych z zastosowaniem dodatkowych funkcjonalności tych aplikacji, które są niedostępne z poziomu systemu CAx i implementowanie w modelu (Hirz et al., 2013).

Interfejsy programistyczne aplikacji

Interfejs programistyczny aplikacji (ang. *Application Programming Interface, API*) jest to pewien ściśle określony zbiór dozwolonych funkcji oraz typów danych, za pomocą których tworzony program może komunikować się z systemem, który dany interfejs udostępnia (Zychła, 2003; Purdum, 2008).

Interfejsy programistyczne systemów CAx w porównaniu z wbudowanymi językami skryptowymi lub językami dostosowanymi (jak np. VBA) pozwalają tworzyć zewnętrzne interaktywne aplikacje, które mogą być niezależne od geometrii lub szablonu konstrukcyjnego. Charakteryzują się własnym graficznym interfejsem użytkownika (ang. *Graphic User Interface, GUI*) dla ułatwienia obsługi i są przystosowane do wykonywania operacji związanych z konkretnym zagadnieniem lub operacją. Mogą obsługiwać jedno- lub dwukierunkową komunikację z danym systemem CAx (Hirz et al., 2013).

Dostęp do interfejsów programistycznych odbywa się poprzez zintegrowane środowisko programistyczne (ang. *Integrated Development Environment, IDE*), w

którym odbywa się tworzenie, testowanie, modyfikowanie, konserwacja oraz aktualizacja oprogramowania. Środowiska programistyczne dostosowane są do konkretnego języka lub grupy języków programowania, np. pakiet Microsoft Visual Studio dostosowany jest do grupy języków działających na platformie .Net Framework, a pakiet Eclipse do języka JAVA.

Interfejs programistyczny może występować praktycznie w każdym języku programowania, jednak jednym z najpowszechniej stosowanych języków programistycznych w systemach CAx jest Visual Basic.Net. Nie oferuje on z reguły tak szerokiego dostępu do funkcjonalności systemów CAx jak interfejsy utworzone np. w językach JAVA lub C++, ale jego prostota oraz łatwo przyswajalna składnia sprawia, że jest on chętnie i często stosowany. Jest to język zorientowany obiektowo, który jest implementowany na platformie .NET Framework firmy Microsoft, co oznacza, że program napisany w tym języku jest kompilowany do kodu pośredniego wykonywanego w maszynie wirtualnej zgodnej z .NET. (Purdum, 2008; Sheldon et al., 2012).

Dominującą techniką programowania stosowaną w tworzeniu aplikacji z użyciem API systemu CAx jest programowanie zorientowane obiektowo (ang. *Object Oriented Programming, OOP*). Istotą tej techniki jest wzajemna interakcja obiektów. Każdy obiekt jest w stanie wysyłać oraz odbierać wiadomości, jak również może przetwarzać dane i może być rozpatrywany jako oddzielna jednostka lub jako aktor z oddzielną rolą oraz odpowiedzialnością (O'Regan, 2016).

Przykładami stosowania API systemów CAx może być:

- generowanie postaci geometrycznej modelu w środowisku systemu Pro/Engineer poprzez aplikację utworzoną w API C++ (Sabareeshan and Willmert, 2011),
- wymiana danych pomiędzy dwoma złożeniami wyświetlonymi w różnych modułach (CAE oraz kinematycznym) w aplikacji Pro/Engineer poprzez aplikację utworzoną w API C++ (Czyżewski, 2010),
- automatyzacja procesu projektowego elementów z wykorzystaniem zewnętrznej aplikacji z własnym UI zintegrowanej z systemem Creo Parametric utworzonej w języku VB.Net (Bedse and Raut, 2016; Bedse, 2016).

2.2.4 Konfigurator produktu

Podstawą idei konfiguracji produktu jest paradygmat masowej kustomizacji, który opiera się na założeniu, że jest możliwa produkcja wysoko wariantowych produktów dostosowywanych do indywidualnych potrzeb klientów przy zachowaniu kosztów bliskich masowej produkcji. W tym rozumieniu pojęcie konfiguracji można wyjaśnić jako szczególny przypadek działania projektowego, w którym przedmiot konfiguracji składa się z wystąpień zestawu zdefiniowanych typów komponentów, które mogą być złożone zgodnie z określonym zestawem reguł i warunków (Felfernig et al., 2014).

Innymi słowy stosując konfigurator istnieje możliwość dynamicznego adaptowania produktów z istniejącej oferty do wymagań szerokiej grupy odbiorców, bez potrzeby wykonywania działań projektowych.

Kustomizowanie z wyłączeniem działań projektowych jest związane z koncepcją konfigurowalności produktu (ang. *product configurability*), czyli z oferowaniem kompletnego opisu, czy też kompletnej architektury rodziny produktu. Oznacza to, że (Forza and Salvador, 2006):

- zostały *a priori* zdefiniowane wszystkie możliwe warianty, które mogą powstać ze wszystkich komponentów w rodzinie produktu oraz wszystkie reguły według których warianty mogą zostać utworzone,
- funkcje oraz cele produktu (cała jego charakterystyka) zostały powiązane z wariantami komponentów lub z ich kombinacjami.

Typy komponentów charakteryzują się właściwościami i reprezentują zestawy alternatywnych komponentów (wystąpień). Właściwością może być np. cena, materiał itd. Komponenty są ze sobą powiązane poprzez zależności typu część-całość (agregacje, np. procesor jest elementem płyty głównej, główka naczynia jest częścią szyjki itd.) lub zależność generalizacji (taksonomię, np. główka koronowa jest rodzajem główki naczynia).

Reguły ograniczają sposoby, według których różne komponenty mogą być ze sobą łączone. Typy komponentów razem z dotyczącym ich zestawem reguł określone są jako model konfiguracji. Modele konfiguracji są konieczne ze względu na fakt, że w wielu przypadkach istnieje ogromna liczba możliwych konfiguracji. Gdyby każde możliwe rozwiązanie było przechowywane w bazie danych, zarządzanie nimi i wyszukiwanie byłoby bardzo nieefektywne i czasochłonne.

Tak przedstawione konfiguratory rozumiane są jako oparte na wiedzy, gdyż opierają się na domenie produktowej i muszą zawierać wiedzę umożliwiającą rozwiązywanie konkretnych zagadnień.

Należy również zwrócić uwagę na fakt, że określenie *konfiguracja* posiada dwa znaczenia (Felfernig et al., 2014):

1. proces generowania konfiguracji składających się z wystąpień typów komponentów,
2. obiekt, który jest efektem tego procesu, reprezentowany np. w postaci listy materiałowej (ang. *Bill of Materials, BoM*).

Podsumowując, konfigurator produktowy ułatwia zestawianie finalnych produktów z wcześniej zdefiniowanych składników. Składnikami mogą być części, pojedyncze produkty możliwe do łączenia, opcje oraz usługi. Składniki te można wybierać i łączyć ze sobą. Podczas wyboru, właściwości składników są kontrolowane pod kątem możliwości łączenia. Podstawą tej kontroli są reguły konfiguracji, z których może korzystać konfigurator produktów. Reguły konfiguracji określają tym samym liczbę możliwości konfiguracji (Sepia, 2017).

Jak wynika z definicji, konfigurator produktów działa tylko wtedy, gdy dla istniejących składników utworzono reguły. Najczęściej reguły są definiowane w trzech obszarach (Sepia, 2017):

1. reguły dotyczące klas – określają które klasy składników mogą być łączone, np. klasę „szyjki” naczynia można połączyć z klasą „główki”,
2. reguły dotyczące właściwości – określają, które właściwości klas składników mogą być ze sobą łączone i w jaki sposób, np. wymiar „średnica szyjki” może być połączony z wymiarem „średnica główki”,
3. reguły dotycząc ogólnej logiki – ograniczają dopuszczalność połączenia, np. opakowanie jest całkowicie zdefiniowane, ale całkowita wysokość lub średnica naczynia jest zbyt duża (co oznacza, że nie może zostać wyprodukowane), więc w takim przypadku reguła uniemożliwi ukończenie konfiguracji naczynia w takiej postaci.

Wszechstronny system służący do konfiguracji produktów powinien obsługiwać wszystkie główne operacje związane z:

- przeprowadzeniem użytkownika przez cały proces konfigurowania,
- sprawdzeniem zgodności wymagań użytkownika z zasobami wiedzy o produkcie oraz zawartością bazy,
- zaprezentowaniem składników oraz całego produktu, jak również informacji na jego temat,
- po ukończeniu procesu konfiguracji przetłumaczyć rezultat na określony wynik konfiguracji, np. zamówienie, projekt lub szczegółowy wykaz materiałów.

Zaletami stosowania technik związanych z konfiguratorami jest znacząca redukcja rozwoju oraz kosztów utrzymania kluczowych funkcjonalności potrzebnych do implementacji paradygmatu masowej kustomizacji. Te funkcjonalności obejmują (Felfernig et al., 2014):

- rozwój oraz utrzymanie zestawów reguł (baza wiedzy konfiguracji),
- rozwój oraz utrzymanie interfejsów użytkowników,
- integrację konfiguratorów z istniejącym w organizacji oprogramowaniem, na przykład z ERP lub PDM/PLM.

2.3. Techniki poszerzonej rzeczywistości

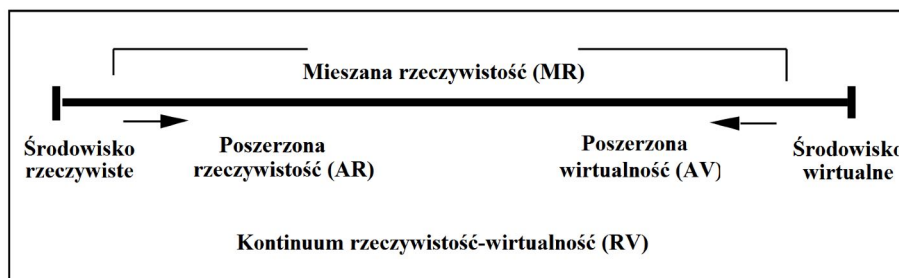
Techniki wirtualnej rzeczywistości (ang. *Virtual Reality*, *VR*) umożliwiają doświadczenie nowej, generowanej przez komputer rzeczywistości, ale pozbawiają użytkownika możliwości widzenia właściwego świata, w którym żyjemy.

W odróżnieniu od wirtualnej rzeczywistości, techniki poszerzonej rzeczywistości³ (ang. *augmented reality*, *AR*) dodają wirtualne obiekty do świata rzeczywistego (Mann, 2002). Technikami poszerzonej rzeczywistości nazywamy więc takie, które w czasie rzeczywistym oraz w środowisku trójwymiarowym umożliwiają łączenie świata rzeczywistego ze światem wirtualnym (Barfield, 2015; Januszka, 2012).

Techniki poszerzonej rzeczywistości należą do szerszej klasy technik nazywanych łączoną lub mieszaną rzeczywistością (ang. *mixed reality*, *MR*). Aby lepiej zrozumieć i wyobrazić sobie ideę tych technik, należy przyjąć założenie, iż istnieje kontinuum rozciągające się od świata w pełni rzeczywistego do świata w pełni wirtualnego (ang. *reality-virtuality continuum*). Można hipotetycznie wprowadzić różne stopnie rzeczywistości oraz „wirtualności”, co zostało pokazane na rysunku 2.11.

Po lewej stronie kontinuum znajduje się więc rzeczywisty świat, w którym nie występują w ogóle obiekty wirtualne, a po prawej stronie znajduje się świat w pełni wirtualny, w którym wszystkie rzeczywiste obiekty zostały zastąpione wirtualnymi. Warto zwrócić tutaj uwagę na dwie ważne kwestie:

³Podane tłumaczenie *augmented reality* na język polski nie jest jedynym. Stosowane są też inne tłumaczenia: rozszerzona rzeczywistość (chyba najbardziej popularne) i wzbogacona rzeczywistość.



Rysunek 2.11: Uprozczone przedstawienie kontinuum rozciągającego się od świata rzeczywistego do świata wirtualnego (Milgram et al., 1995)

Figure 2.11: Reality-virtuality continuum shown in a simplified way (Milgram et al., 1995)

1. Przy tym założeniu wirtualne - oprócz obiektów geometrycznych - są również ich właściwości, jak również prawa fizyczne (np. grawitacja, zjawiska, czas itd.);
2. Świat wirtualny może symulować lub nawet do złudzenia przypominać świat rzeczywisty.

Wszystko co się znajduje pomiędzy dwiema granicami kontinuum jest rzeczywistością mieszaną przy czym bliżej lewej strony znajduje się poszerzona rzeczywistość - z przewagą obiektów rzeczywistych w stosunku do wirtualnych, a bliżej prawej poszerzona wirtualność - z przewagą obiektów wirtualnych w stosunku do rzeczywistych (ang. *Augmented Virtuality, AV*) (Migram, 1994).

Należy tutaj również dodać, że poszerzanie rzeczywistości może odnosić się do oddziaływania dodatkowymi informacjami na dowolny ludzki zmysł, a więc nie tylko na wzrok, ale również np. na słuch (Grubert and Grasset, 2013). Niemniej jednak z uwagi na charakter pracy, w dalszej jej części autor skupi się na „poszerzaniu” wizualnym.

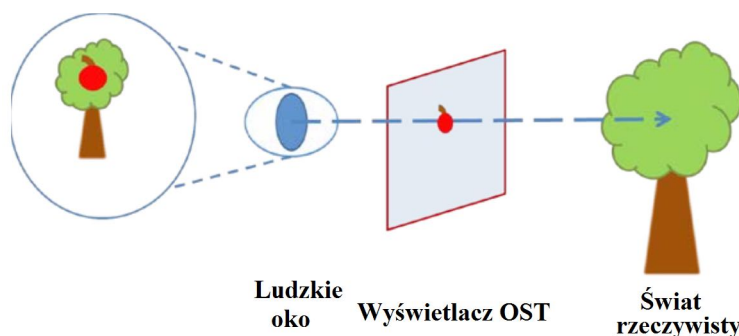
Mając na uwadze powyższe informacje, można teraz dokonać kolejnego podziału technik mieszanej rzeczywistości. Oprócz technik poszerzonej rzeczywistości, w których założono dodanie wirtualnych obiektów do realnego świata, można jeszcze wyróżnić ideę pomniejszonej rzeczywistości (ang. *diminished reality*), która zakłada, że rzeczywiste obiekty lub ich właściwości są odejmowane (np. obraz wyświetlany jest w czarno-białej palecie barw lub widoczny jest tylko jeden rzeczywisty obiekt, a pozostałe są niewidoczne) oraz zmienionej rzeczywistości (ang. *altered reality*), gdzie obiekty są modyfikowane, np. zmieniane mogą być kolory (Mann, 2002).

Dla prawidłowego prezentowania świata/sceny AR konieczne jest zastosowanie odpowiednich urządzeń. W najogólniejszym ujęciu, potencjalne urządzenie do generowania efektu poszerzonej rzeczywistości powinno składać się z częściowo przezroczystych okularów lub ekranu, na którym będzie wyświetlany obraz z kamery, jednostki przetwarzającej dane oraz generującej wirtualne obiekty oraz opcjonalnie czujników (jeżeli są wykorzystywane w danym rodzaju AR), jak np. moduł GPS (ang. *Global Positioning System*) (Mann, 2002).

Współcześnie stosowane są dwa główne rozwiązania, które są oparte na:

1. wyświetlaczach optycznych (ang. *optical see-through, OST*),
2. wyświetlaczach wideo (ang. *video see-through, VST*).

W pierwszym rozwiązaniu osoba widzi rzeczywisty świat przez transparentny ekran, na którym wyświetlane są tylko obiekty wirtualne. Proces łączenia obiektów wirtualnych z rzeczywistymi odbywa się w narządzie wzroku patrzącego. Uproszczony schemat takiego układu został pokazany na rysunku 2.12.



Rysunek 2.12: Zasada działania optycznego układu poszerzonej rzeczywistości (Grubert and Grasset, 2013)

Figure 2.12: The principle of operation of optical see-through augmented reality system (Grubert and Grasset, 2013)

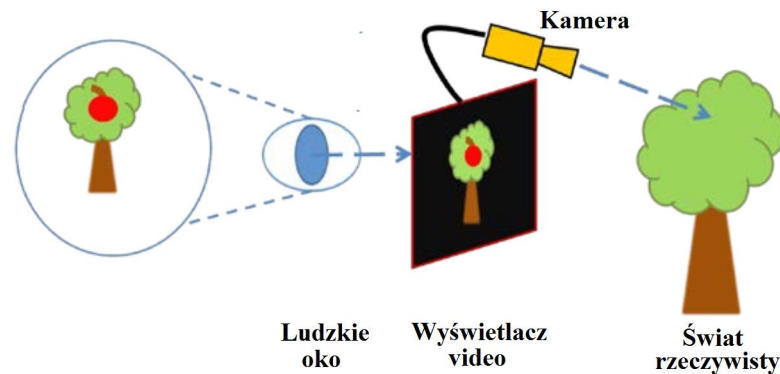
W drugim typie rozwiązania, obecnie powszechnie stosowanym⁴, obraz rejestrowany jest przez kamerę wideo, następnie zostaje przetworzony - następuje łączenie obiektów wirtualnych z rzeczywistymi - i wyświetlany jest na ekranie urządzenia, np. monitora, laptopa, smartfona itd. Zostało to pokazane na rysunku 2.13.

Najważniejszym, najtrudniejszym oraz najbardziej wymagającym od strony technicznej zadaniem jest nałożenie oraz połączenie obiektów wirtualnych ze światem rzeczywistym tak, żeby mogły w spójny sposób zostać zaprezentowane użytkownikowi. Proces ten nazywany jest w literaturze angielskojęzycznej *image registration*, co w języku polskim powinno być poprawnie tłumaczone jako *nakładanie obrazów*. W opinii autora najbardziej poprawna terminologia dla tego pojęcia została ustalona w pracy (Maintz and Viergever, 1998), w której została podana następująca definicja: „dane zawarte w dwóch obrazach, mające komplementarny charakter, można zintegrować, a w tym celu należy doprowadzić do ich zgodnego ułożenia przestrzennego (ang. *spatial alignment*). Procedurę doprowadzania do takiej zgodności nazywamy nakładaniem obrazów. Potem należy dokonać połączenia lub fuzji danych (ang. *data fusion*), czyli ich wspólnej prezentacji, w taki sposób, aby umożliwić ich dalszą analizę jako jednolitej całości.”

Żeby mógł zaistnieć proces poprawnego nakładania obrazów system musi posiadać informacje na temat środowiska rzeczywistego. W związku z tym, żeby można było mówić o poszerzonej rzeczywistości, muszą być spełnione trzy podstawowe warunki (Azuma, 1997):

1. proces musi zachodzić w przestrzeni trójwymiarowej,
2. proces nakładania musi się odbywać w czasie rzeczywistym,
3. proces musi być interaktywny.

⁴Autor odnosi się, do najczęściej stosowanych rozwiązań na rynku konsumenckim. W branży przemysłowej coraz bardziej popularne staje się rozwiązanie z transparentnym wyświetlaczem: Microsoft HoloLens lub Daqri Helmet.



Rysunek 2.13: Zasada działania układu video poszerzonej rzeczywistości (Grubert and Grasset, 2013)

Figure 2.13: The principle of operation of augmented reality system based on video see-through display (Grubert and Grasset, 2013)

Trzy powyższe warunki odróżniają poszerzoną rzeczywistość od treści opracowywanych do potrzeb np. filmów, prezentacji itd.

Warunkiem prawidłowego powiązania świata rzeczywistego z wirtualnym w systemach AR jest precyzyjny system śledzenia położenia oraz orientacji głowy lub oczu obserwatora (ang. *tracking system*). Szczegółowy podział układów śledzących został dokonany w pracy (Januszka, 2012):

- interfejsy śledzące położenie oraz orientację głowy użytkownika,
 - mechaniczne,
 - bezwładnościowe,
 - magnetyczne,
 - akustyczne,
 - optyczne,
 - wykorzystujące komputerową analizę obrazu,
 - bazujące na sygnale GPS,
 - hybrydowe (będące połączeniem co najmniej dwóch podstawowych układów śledzących),
- interfejsy śledzące położenie oraz orientację oka użytkownika,
 - optyczne,
 - elektryczne,
 - elektromagnetyczne.

Najpowszechniej stosowane są dwa rozwiązania:

1. Oparte na sensorach (ang. *sensor-based AR*),
2. Oparte na wizji komputerowej (ang. *computer vision-based AR*) – z użyciem wbudowanej kamery.

Obecnie jest też tendencja stosowania systemów hybrydowych, które łączą kilka różnych systemów śledzenia.

W pierwszym rozwiązaniu dane odczytywane są z czujnika geolokacji (najczęściej z modułu nawigacji satelitarnej GPS) oraz z czujnika orientacji urządzenia (akcelerometra i żyroskopu). Z połączenia danych zebranych z tych dwóch czujników system ustala globalne położenie użytkownika w rzeczywistym świecie.

W drugim rozwiązaniu użyta zostaje wbudowana kamera. Zasada działania układu śledzenia opiera się w tym przypadku na algorytmach przetwarzania obrazu, które to algorytmy umożliwiają odczyt i analizę obiektów znajdujących się w polu widzenia kamery. Analiza ta dostarcza informacji na temat relacji położenia różnych obiektów, a w efekcie użytkownika. W najprostszych rozwiązaniach (które jak dotąd okazują się dawać najbardziej stabilne rezultaty) stosowane są specjalnie przygotowane płaskie obrazy w postaci treści nadrukowanej na papier lub wyświetlanych na ekranie innego urządzenia mobilnego (czytnika e-book lub np. tabletu). Obrazy te nazywane są popularnie markerami, a odmiana tej techniki – śledzeniem opartym na markerach (ang. *marker-based approach*).

Systemy AR mogą być klasyfikowane według różnych kryteriów. Jednym z kryteriów stanowi ich zastosowanie. Bogatego przeglądu technik AR według zastosowania w procesie koncipowania, projektowania i konstruowania, technologicznego przygotowania wytwarzania oraz opracowania dokumentacji konstrukcyjnej dokonał, jak również opracował własną metodę wspomagania procesu projektowania i konstruowania z zastosowaniem technik poszerzonej rzeczywistości (Januszka (2012). Autor tego opracowania zwrócił również uwagę na fakt, że techniki AR mogą być również klasyfikowane według innych kryteriów, niż zastosowanie, a mianowicie np. według warunków działania (zamknięte pomieszczenia, poza budynkami), liczby użytkowników (systemy pozwalające na pracę grupową - systemy rozproszone, systemy dedykowane wyłącznie dla jednego użytkownika), relacji pomiędzy obiektami wirtualnymi i rzeczywistymi (systemy symulujące oddziaływanie obiektów na siebie lub bez takiego oddziaływania).

Przeglądu zastosowania technik AR w architekturze dokonał (Abboud, 2014), podczas gdy w przemyśle (Wróbel, 2013).

Pozostałe przykłady stosowania technik AR opisywane są w następujących publikacjach:

- wizualizacja i prezentacja w formie 3D oferty produktów (Januszka and Pilch, 2015),
- cyfrowe prototypowanie (Januszka, 2010),
- tworzenie prezentacji multimedialnych w symulatorach proceduralno-diagnostycznych (Sienicki et al., 2015),
- wspomaganie oparte na wiedzy procesu opracowania środka technicznego (Januszka, 2013a),
- projektowanie ergonomiczne (Januszka, 2013b),
- wspomaganie zarządzania obiektami mostowymi (Salamak et al., 2015),
- szkolenie pracowników (Grabowski, 2012),
- wspomaganie procesów analityczno-decyzyjnych w architekturze i planowaniu przestrzennym, jak również do wspomagania personelu w terenie (Konnopacki, 2014; Bae et al., 2013),

- wspomaganie technik prezentacji w kulturze oraz sztuce (Caarls et al., 2009),
- wizualizacja obiektów w otwartych przestrzeniach (Dong and Kamat, 2013),
- wspomaganie procesu projektowania, zatwierdzania oraz wzbogacania projektu technicznego treściami multimedialnymi (Poh et al., 2005; Shin, 2013; Wang and Dunston, 2013),
- technik wizualizacji przy analizie wyników w medycynie (Ćuković et al., 2016),
- cele edukacyjne (Lee and Choi, 2014; Kumar et al., 2015),
- tworzenie aranżacji w branży meblowej (Renukdas et al., 2013),
- techniki wspomagające w systemie pozycjonowania oraz śledzenia ruchu pieszych (Amin and Govilkar, 2015),
- w archeologii (Empler et al., 2013; Wiley and Schulze, 2015)
- wspomaganie wytwarzania (Ong and Nee, 2013).

2.3.1 Biblioteki poszerzonej rzeczywistości

Narzędzia do tworzenia aplikacji opartych na technikach poszerzonej rzeczywistości mogą być dostępne jako kompletne środowisko lub częściej jako zestaw bibliotek programistycznych do zastosowania w wybranym środowisku programistycznym lub np. silniku graficznym.

Biblioteki programistyczne udostępniane są z reguły w postaci zestawu narzędzi programistycznych (ang. *Software Development Kit*, *SDK*), który najczęściej składa się z:

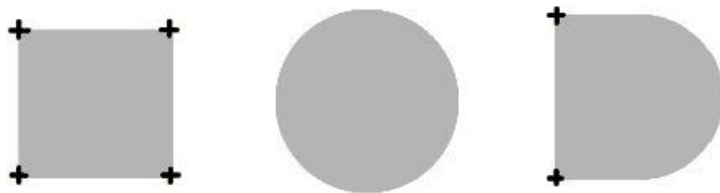
- dokumentacji,
- plików nagłówkowych dla danego języka programowania,
- przykładowych kodów źródłowych,
- skompilowanych bibliotek,
- kodu źródłowego biblioteki.

Biblioteki poszerzonej rzeczywistości są najważniejszym elementem aplikacji i są odpowiedzialne za wykonywanie operacji związanych z: identyfikacją położenia (ang. *recognition*), śledzeniem (ang. *tracking*) oraz renderowaniem treści (ang. *content rendering*) (Amin and Govilkar, 2015).

Najpopularniejsze biblioteki programistyczne poszerzonej rzeczywistości to (Amin and Govilkar, 2015): Metaio⁵, Vuforia, Wikitude, D'Fusion, ARTToolKit, ARmedia.

Szczegółowy opis oraz porównanie poszczególnych bibliotek nie jest przedmiotem tej pracy, więc w dalszej części autor przybliży wyłącznie bibliotekę, która została wybrana do realizacji badań, a mianowicie Vuforia SDK.

⁵Biblioteki te nie są już dostępne na rynku, gdyż w 2015 roku firma Metaio została przejęta przez Apple Inc.



Rysunek 2.14: Zasada działania rozpoznawania oraz oznaczania znaczników przez algorytm Vuforia (Vuforia, 2017)

Figure 2.14: The principle of operation of marker recognition and marking algorithms of Vuforia (Vuforia, 2017)

Vuforia została utworzona przez amerykańskie przedsiębiorstwo Qualcomm, Inc. Technologia ta została pod koniec 2015 roku kupiona przez firmę PTC, producenta aplikacji CAx - Creo Parametric.

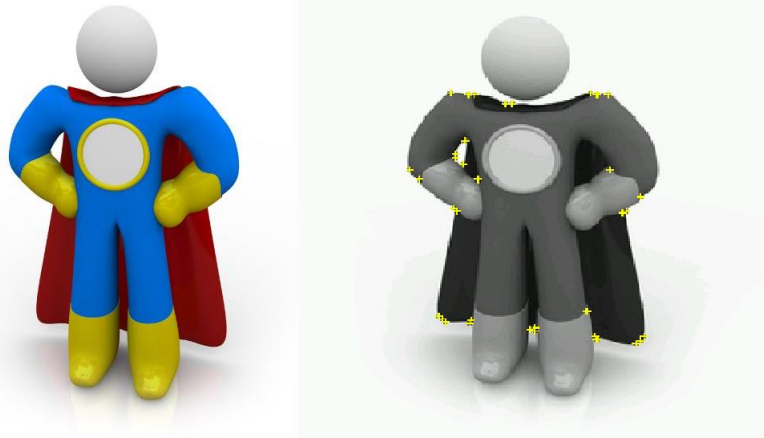
Vuforia umożliwia tworzenie aplikacji na platformy: Android, iOS oraz UWP (Universal Windows Platform) w środowiskach programistycznych: Android Studio, XCode, Visual Studio oraz Unity (PTC, 2017). Interfejsy programistyczne udostępnione są w językach: C++, JAVA, Objective-C++ oraz w językach platformy .NET (poprzez rozszerzenie do platformy Unity3D).

Elementem pracy z bibliotekami Vuforia jest korzystanie z narzędzia udostępnianego za pośrednictwem strony internetowej nazwanego przez twórców „Menedżerem Obiektów” (ang. *Target Manager*). Narzędzie to służy do tworzenia oraz zarządzania bazą danych znaczników, które nazywane są tutaj angielskim określeniem: *image targets*. Definiowanie znacznika odbywa się poprzez wgranie obrazu do bazy danych, w której zostaje on przetworzony, a następnie może zostać wyeksportowany jako paczka danych (ang. *data set*) i wgrany do wybranego środowiska programistycznego (w którym ma zostać utworzona aplikacja).

Najważniejszymi elementami podczas tworzenia znaczników w środowisku Menedżera Obiektów są: „cechy charakterystyczne” (ang. *natural feature*) oraz „oceny obrazu” (ang. *image ratings*). Są to zaimplementowane na tej platformie algorytmy (określane przez twórców „analizatorem obrazu”, ang. *image analyzer*), które rozpoznają wgrany obraz poprzez określanie na jego geometrii punktów charakterystycznych, a następnie zostaje on poddany ocenie w skali od 0 do 5. Stanowi to informację dla użytkownika czy może on być wykorzystany jako znacznik. Im wyższa ocena zostanie przyznana, tym szybciej będzie on rozpoznawany i stabilniej będą działały algorytmy śledzenia. Zero oznacza, że znacznik nie może zostać użyty (Vuforia, 2017).

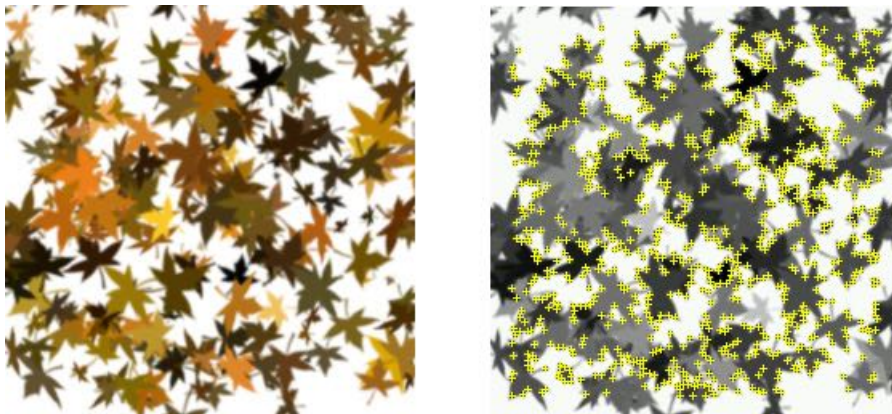
Cechami w rozumieniu Vuforii są ostre, wystające i kanciaste części obrazu. Po przeprowadzeniu analizy są one oznaczane na grafice małymi żółtymi krzyżykami. Im więcej jest cech charakterystycznych na znaczniku, tym lepszą ocenę otrzymuje od analizatora obrazu.

Zasada działania analizatora Vuforia została pokazana na rysunku 2.14, na którym widoczne jest oznaczenie cech charakterystycznych na kwadracie (w czterech narożnikach), brak możliwości oznaczenia tych punktów na kole oraz połączenie tych dwóch figur. Ważnym wnioskiem wynikającym z tych przykładów jest mała przydatność obrazów przedstawiających np. obiekty organiczne.



Rysunek 2.15: Obraz z małą liczbą cech charakterystycznych, oznaczony przez algorytmy Vuforia oceną 1 (Vuforia, 2017)

Figure 2.15: Image with small number of features marked by Vuforia algorithms with rating 1 (Vuforia, 2017)



Rysunek 2.16: Obraz z dużą liczbą cech charakterystycznych, oznaczony przez algorytmy Vuforia oceną 5 (Vuforia, 2017)

Figure 2.16: Image with high number of features marked by Vuforia algorithms with rating 5 (Vuforia, 2017)

Na rysunkach 2.15 oraz 2.16 zostały pokazane przykłady obrazów z oceną 1 (obraz 2.15) oraz z maksymalną oceną 5 (obraz 2.16).

W przypadku niskiej oceny, system informuje użytkownika o tym, co jest powodem niskiej oceny oraz co należy poprawić, żeby obraz był lepiej rozpoznawany.

Oprócz cech charakterystycznych oceniane są również inne czynniki (Vuforia, 2017):

- Kontrast lokalny (ang. *local contrast*) - obrazy o niskim kontraście (o niskiej szczegółowości, zaokrąglonych narożnikach, rozmyte lub poddane wysokiej kompresji) nie zapewniają wystarczającej jakości, aby mogły być właściwie rozpoznawane i śledzone,
- Rozmieszczenie cech (ang. *feature distribution*) - wysokiej jakości elementy powinny być równomiernie rozmieszczone na całej powierzchni obrazu; niepożądane jest lokalne zagęszczenie dużej liczby cech charakterystycznych

przy jednoczesnym ich braku w innych obszarach obrazu - zalecane jest wtedy przycięcie obrazu i wykorzystanie fragmentu o wysokiej jakości,

- Zawartość organicznych kształtów - brak wymaganej liczby cech charakterystycznych,
- Zawartość powtarzających się wzorów - nawet jeżeli obraz zawiera wymaganą liczbę punktów charakterystycznych i dobry kontrast, to powtarzające się wzory oraz symetria obrotowa utrudniają wydajność rozpoznawania; zróżnicowanie wielkości elementów lub obrót wokół ich własnej osi niweluje ten efekt.

Poza doskonałym algorytmem śledzenia opartego na znacznikach, do najważniejszych możliwości bibliotek Vuforia SDK można zaliczyć (Renukdas et al., 2013; Vuforia, 2017):

- możliwość skanowania i użycia jako znaczników obiektów 3D,
- możliwość stosowania wielu znaczników,
- rozpoznawanie tekstu, który następnie może zostać użyty jako znacznik,
- funkcjonalność wirtualnych przycisków.

2.3.2 Zintegrowane środowisko multimedialne Unity3D

Unity3D (Unity, 2017; Chen, 2016; Muhammad and Sunar, 2016; Berger and Cristie, 2015; Horachek, 2014; Khalifa et al., 2015; Gregory, 2017) jest wieloplatformowym silnikiem gry (ang. *game engine*) oraz środowiskiem programistycznym, które umożliwia tworzenie gier oraz innych treści multimedialnych. Unity3D jest dostępne w wersjach na systemy operacyjne: MS Windows, OS X oraz Ubuntu, natomiast treści mogą być kompilowane na większość dostępnych obecnie platform sprzętowych, m.in.: iOS, Android, MS Windows, Tizen, OS X, na przeglądarki internetowe w technologii WebGL oraz z użyciem API portali społecznościowych (np. Facebook) oraz na wszystkie obecnie dostępne konsole służące do grania w gry komputerowe.

Za pomocą dostępnych rozszerzeń w środowisku Unity3D można tworzyć aplikacje w technologiach wirtualnej oraz poszerzonej rzeczywistości na wszystkie obecnie dostępne urządzenia, które obsługują te technologie, m.in.: MS HoloLens, Gear VR, Oculus Rift, Steam VR oraz Playstation VR (Unity, 2017).

Jak więc widać, jednym z głównych założeń środowiska Unity3D jest jego wieloplatformowość.

Unity umożliwia programowanie w językach: C# oraz Boo (który jest odmianą języka JavaScript) - w wersji niekomercyjnej oraz w języku C++ w wersji profesjonalnej.

Zaletami środowiska Unity3D jest łatwy w obsłudze edytor środowiska, który umożliwia tworzenie i zarządzanie zawartością sceny oraz obiektami, narzędzia do analizowania i optymalizacji tworzonych treści na daną platformę, rozbudowane narzędzia do tworzenia animacji oraz obsługa technologii sieciowych (Gregory, 2017).

Żeby lepiej zrozumieć czym jest Unity3D i jakie są największe zalety stosowania tego narzędzia, należy zrozumieć czym ogólnie jest silnik gry. Termin ten pojawił się po raz pierwszy w połowie lat dziewięćdziesiątych w powiązaniu z grami

akcji, w których widok prezentowany był z perspektywy oczu głównego bohatera (ang. *first-person shooter, FPS*), których przykładem była niezwykle popularna w tamtych latach gra wyprodukowana przez firmę id Software, pt. *Doom*. Cechą tej gry było odseparowanie składników odpowiedzialnych za integralne komponenty programistyczne (takie jak system renderowania grafiki, system detekcji kolizji lub system audio) od składników odpowiedzialnych za wygląd lokacji oraz zasad gry, które składały się na ogólne doświadczenia graczy.

To co odróżnia silnik gry od standardowego środowiska programistycznego, to jest struktura jego bibliotek uruchomieniowych (ang. *runtime engine architecture*).

Dzięki bogatym możliwościom silników gier (Gregory, 2017) oraz dzięki możliwości swobodnego dostosowywania ich poprzez języki programowania, znajdują one również szerokie zastosowanie w innych obszarach, niż gry komputerowe. W dostępnych opracowaniach naukowych dostępnych jest wiele badań oraz przykładów ich zastosowań w różnych dziedzinach, a szczególnie tych ogólnodostępnych udostępnianych na licencjach darmowych, jak np. Unity3D. Niektóre z ciekawych zastosowań silnika Unity3D to:

- wizualizacja wyników w obliczeniowej mechanice płynów (Berger and Cristie, 2015),
- opracowanie oprogramowania służącego do rehabilitacji ruchowej (Chen, 2016),
- symulacja ruchu robota (Andaluz et al., 2016),
- opracowania narzędzia służącego do wspomaganie i wizualizacji danych genetycznych i klinicznych w medycynie (Khalifa et al., 2015),
- opracowanie narzędzia służącego do badań nad zagadnieniami związanymi z gamifikacją (Fanfarelli and McDaniel, 2016),
- opracowanie narzędzia służącego do wizualizacji obiektów w archeologii (Trautner, 2015; Barreau et al., 2014; Barsanti et al., 2015).

2.4. Podsumowanie

W rozdziale przedstawiono podstawowe zagadnienia związane z obszarem badań, który obejmuje techniki wspomaganie procesu konstrukcyjnego naczyń szklanych.

Przybliżone oraz omówione zostały podstawowe aspekty każdego z zagadnień, które związane są z tematyką badań. Szczególną uwagę poświęcono metodom automatyzacji procesu projektowo-konstrukcyjnego oraz technikom poszerzonej rzeczywistości, gdyż są to dwa kluczowe obszary, które mają największy wpływ na możliwości wprowadzenia usprawnień w procesie projektowo-konstrukcyjnym.

Przedstawiono obecne konteksty stosowania danych narzędzi oraz wskazano na korzyści wynikające z możliwości ich stosowania w innych dziedzinach, niż przedstawione (np. silniki gier).

Do każdego z opisywanych zagadnień dołączony został szeroki wybór literatury, który umożliwi zagłębienie się w poszczególne obszary.

Rozdział 3

Metoda konfiguracji naczyń szklanych

W rozdziale tym przedstawiono opracowaną i zastosowaną przez autora metodę wspomagania projektowania naczyń szklanych z zastosowaniem konfiguracji w środowisku poszerzonej rzeczywistości.

3.1. Założenia metody

Opracowując i proponując tę metodę autor podjął próbę przededefiniowania istniejącego procesu konstrukcyjnego oraz rozwiązania wielu problemów, które w tym procesie istnieją lub przynajmniej znaczącej ich minimalizacji. Tak więc proponowana metoda została oparta na czterech postulatach:

1. konfigurowanie produktu (naczynia szklanego) musi być możliwe w odseparowaniu od rutynowych konstrukcyjnych działań inżynierskich,
2. proces projektowania musi być realizowany partycypacyjnie oraz musi być zorientowany na użytkownika (patrz rozdz. 1.1),
3. proces uzyskiwania modeli wirtualnych naczyń należy realizować z użyciem tzw. konfiguratorów produktowych powiązanych programowo z systemami CAx (konfigurowany model powstaje równolegle w środowisku danego systemu klasy CAx, jako model w pełni parametryczny i możliwy do dalszej edycji) (patrz rozdz. 2.2.4),
4. musi być możliwa weryfikacja modelu wirtualnego na tle świata realnego, np. w otoczeniu istniejących naczyń (z użyciem urządzeń przenośnych, jak smartfon czy tablet).

W kontekście implementacji opracowanej metody w jej utylitarnym zastosowaniu wszystkie te cztery postulaty są ze sobą mocno powiązane i niezbędne do jej realizacji (za pomocą osobnego systemu informatycznego).

U podstaw opracowanej metody znajduje się założenie, że w ogólnym ujęciu w proces opracowywania nowego projektu naczynia szklanego zaangażowane są dwie grupy uczestników:

- specjaliści do spraw rozwoju produktu, specjaliści z dziedziny marketingu itp. - osoby, które nie są bezpośrednio zaangażowane w proces konstrukcyjny, lecz opiniują i akceptują wyniki tego procesu,

- eksperci z dziedziny konstrukcji, czyli osoby, które bezpośrednio zaangażowane są w proces konstrukcyjny - są to głównie konstruktorzy.

Schemat przedstawiający ideę metody został pokazany na rysunku 3.1.

3.2. Konfiguracja produktu w odseparowaniu od rutynowych konstrukcyjnych działań inżynierskich

Konstruktorów cechuje m.in. biegłe posługiwanie się zaawansowanymi narzędziami CAx. Narzędzia te mają bogate możliwości z zakresu modelowania 3D, opracowywania szczegółowych analiz, symulacji oraz wizualizacji, a finalnie sporządzania dokumentacji 2D. Dzięki możliwości używania zaawansowanych narzędzi, konstruktorzy posiadają niezwykle szczegółową wiedzę na temat opracowywanego projektu - na temat struktury jego postaci geometrycznej oraz szczegółów związanych z wymiarami gabarytowymi, jak również ich wpływem na proces produkcyjny lub nawet na użytkowanie. Sprawia to jednak, że najczęściej posługują się terminami oraz językiem, które związane są z oprogramowaniem, które stosują w swojej codziennej pracy oraz często również z konkretną branżą. Najczęściej przywiązanie do codziennego środowiska jest tak wielkie, że eksperci tworzą swój własny żargon będący wynikiem używanego oprogramowania oraz branży. Z punktu widzenia ich codziennej pracy jest to ogromna zaleta, gdyż mówią językiem konstruowania, który bogaty jest w techniczne sformułowania, przeplatany niuansami np. z drzewa topologicznego systemu CAx, wzorami itd., lecz sprawia to, że dla ludzi spoza ich środowiska jest to spore utrudnienie w zrozumieniu i tak często niełatwych zagadnień.

Dla uczestników procesu opracowywania projektu nowego produktu, którzy nie są bezpośrednio związani z konstruowaniem oraz o wykształceniu innym, niż techniczne niuanse związane z analizami, symulacjami, strukturą postaci geometrycznej, czy też szczegółowymi wartościami wymiarów gabarytowych, mimo iż czasami ciekawe, finalnie są zupełnie nieistotne. Co więcej, otrzymując dużą ilość szczegółowych danych, bez wskazania istotnych dla nich elementów, nie są w stanie poprawnie ocenić i zweryfikować, a finalnie walidować projektu.

Podczas procesu konfiguracji produktu według zaproponowanej metody, dzięki odseparowaniu części działań inżynierskich (patrz rys. 3.1 - *System klasy CAx* oraz *Autorski system poszerzonej rzeczywistości*), zamawiający ma możliwość lepszego skoncentrowania się na istotnych dla niego elementach. Mimo iż wszystkie złożone elementy tego procesu są obecne i ich rola jest równie ważna, nie są one prezentowane na warstwie interfejsu urządzenia mobilnego, którego używa zamawiający podczas konfiguracji naczyń.

3.3. Projektowanie partycypacyjne oraz zorientowane na użytkownika

Współpraca w zespołach projektowych składających się zarówno z ekspertów z dziedziny konstrukcji jak i ze specjalistów z dziedziny rozwoju oraz wprowadzania nowych produktów na rynek jest konieczna. Niestety często odbywa się w bardzo ograniczonym zakresie lub za pośrednictwem osób pośrednich. W wielu firmach, żeby usprawnić komunikację pierwszy kontakt zamawiającego nowy wzór naczyń

odbywa się z pracownikiem działu sprzedaży lub marketingu dostawcy. Następuje wtedy przekazanie wstępnych wymagań do projektu.

Następnie dane te są przekazywane do oceny przez ekspertów z dziedziny konstrukcji i jeżeli zostaną zaakceptowane, są podstawą do rozpoczęcia działań konstrukcyjnych.

Niemniej jednak pośrednia forma komunikacji sprawdza się tylko i wyłącznie w przypadku niezbyt skomplikowanych projektów lub niezbyt wymagających klientów.

Najbardziej krytycznymi momentami w procesie konstrukcyjnym z punktu widzenia współpracy pomiędzy zamawiającym oraz wykonawcą są:

- przekazanie danych wejściowych do projektu,
- przekazywanie uwag dotyczących opracowanych propozycji.

Na obydwie te elementy ogromny wpływ ma jakość komunikacji pomiędzy zamawiającym nowym wzorem naczynia oraz wykonawcą, w tej sytuacji reprezentowanym przez konstruktora (lub reprezentującego go innego pracownika wykonawcy). Poprawne zebranie i przekazanie do konstruktora właściwych danych wejściowych do projektu sprawia, że będzie on w stanie znacząco zbliżyć się do oczekiwań zamawiającego (a w idealnym przypadku - uzyskać jego akceptację). Jeżeli pierwsza propozycja wymaga wprowadzenia korekt lub zmian (wynikających np. ze zmiany wymagań), to - podobnie jak w przypadku danych wejściowych - poprawne ich przekazanie przez zamawiającego i poprawne zrozumienie ich przez konstruktora będzie miało ogromny wpływ na liczbę kolejnych wersji, które doprowadzą do uzyskania finalnej akceptacji.

Projektowanie partycypacyjne oraz zorientowane na użytkownika zakłada aktywny udział oraz pełne zaangażowanie zamawiającego produktu (lub nawet odbiorcy końcowego) w proces jego projektowania (tu: konfiguracji) (patrz rys. 3.1 - *Warstwa użytkownika*). Umożliwia to bezpośrednie zastosowanie oraz sprawdzenie danych wejściowych, a z uwagi na fakt, że zamawiający własnoręcznie projektuje nowy model 3D naczynia, ma większą pewność, że jego potrzeby zostały zaspokojone. Dodatkowo, w trakcie pracy nad modelem ma możliwość uczenia się produktu (który nie posiada jeszcze swojej fizycznej reprezentacji) oraz procesu jego projektowania.

Z racji tego, że projektowanie partycypacyjne odbywa się najczęściej z udziałem przedstawiciela dostawcy, ma on możliwość - poprzez rozmowę i obserwację - w większym stopniu zrozumieć potrzeby zamawiającego.

3.4. Konfiguratorry produktowe

W przypadku trudnych projektów oraz wymagających klientów, żeby uzyskać finalną akceptację i wdrożyć nowy wzór naczynia (które w pełni zaspokoi potrzeby zamawiającego) do produkcji, najczęściej konieczne jest opracowanie wielu wersji modeli 3D (liczba ta może dochodzić nawet do kilkudziesięciu), często konieczne jest również omówienie propozycji w multidyscyplinarnym zespole projektowym oraz utworzenie fizycznych prototypów.

Wszystkie te działania znacząco wydłużają czas wdrożenia nowego naczynia do produkcji oraz wprowadzenia go na rynek, jak również sprawiają, że proces ten jest znacząco droższy.

Stosując metody konfiguracji produktów możliwe jest szybkie wygenerowanie wielu, znacząco różniących się od siebie wersji, które mogą być użyte jako pełnoprawne projekty i mogą zostać wdrożone do produkcji w dużo krótszym czasie. Natomiast z uwagi na fakt, że w procesie automatyzacji zostały uwzględnione elementy wiedzy inżynierskiej reprezentowanej za pomocą reguł (dotyczące np. możliwości i ograniczeń procesu produkcyjnego), przewiduje się, że ryzyko wystąpienia poważnych pomyłek w konstrukcji naczynia szklanego zostanie poważnie zminimalizowane.

3.5. Możliwość sprawdzenia modelu 3D w realnym świecie

Bardzo ważnym aspektem jest również sposób oceny projektu - dla osób zajmujących się wprowadzeniem nowego wzoru naczynia na rynek istotne są zupełnie inne kryteria jego oceny, niż dla osoby, która wdraża ten sam wzór naczynia do produkcji.

Może zaistnieć nawet taka sytuacja (i często tak jest), że wzór naczynia, który z marketingowego punktu widzenia spotkałby się z idealnym przyjęciem na rynku, jest bardzo trudny lub wręcz niemożliwy do wyprodukowania. Istotne jest więc wtedy wspólne wypracowanie kompromisu pomiędzy tym co „się sprzeda”, a tym co można wytworzyć racjonalnymi środkami przy obecnych możliwościach produkcyjnych.

Stosując techniki rzeczywistości poszerzonej, zamawiający może wykonywać działania projektowe związane z utworzeniem modelu 3D naczynia w jego docelowym kontekście, a więc np. umiejscowiony na półce sklepowej lub w otoczeniu innych, istniejących naczyń (patrz rys. 3.1 - *Testowanie koncepcji*). Ważny jest tutaj również fakt, że aby działania te mogły być wykonane, muszą być realizowane na urządzeniu mobilnym, którym może być np. smartfon lub tablet. Pozwala to przenieść działania konstrukcyjne z biura do dowolnej innej lokalizacji.

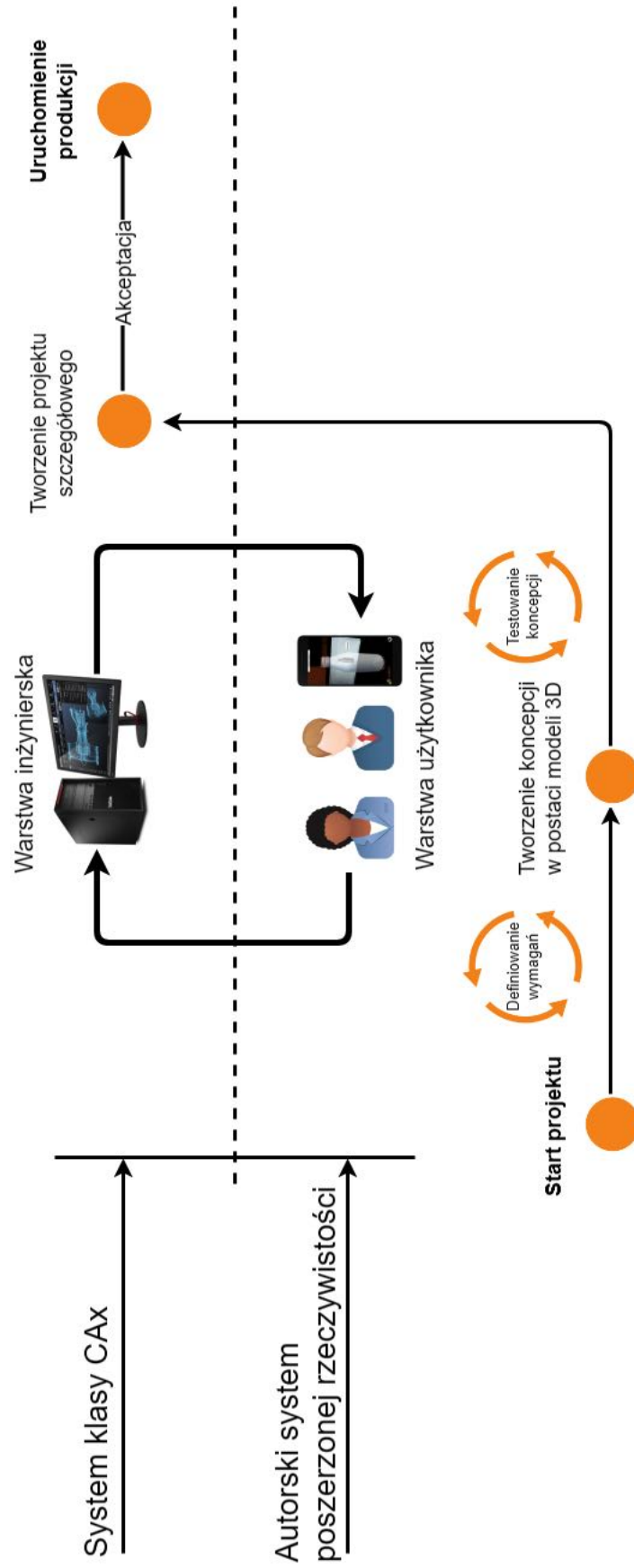
3.6. Podsumowanie

Reasumując, za pomocą tej metody zamawiający ma możliwość własnoręcznego utworzenia nowego modelu 3D w środowisku poszerzonej rzeczywistości, co daje możliwość jego reprezentowania w docelowym kontekście, w jakim będzie znajdował się finalny produkt.

W trakcie procesu konstrukcyjnego zamawiający może dokonywać oceny powstającego modelu 3D oraz wprowadzać korekty, jak również generować kolejne jego wersje. Zaś dzięki mobilności systemu konfiguracyjnego, wspomniane działania mogą być wykonywane w dowolnym miejscu.

Wprowadzone mechanizmy konfiguracji umożliwiają równoległe generowanie dokładnych danych konstrukcyjnych (w środowisku systemu klasy CAx), co sprawia, że projektowany przez zamawiającego model 3D nie musi być odtwarzany przez konstruktora, lecz po zakończeniu działań zamawiającego i jego akceptacji, może zostać wdrożony do produkcji (jego szczegółowy parametryczny model 3D powstanie automatycznie w środowisku systemu CAx).

Reguły sprawdzające zaimplementowane w konfiguratorze oraz dane prezentowane w interfejsie użytkownika ułatwiają utworzenie modelu 3D, który będzie poprawny technologicznie, a więc nie będzie wymagał korekt przed wdrożeniem do produkcji.



Rysunek 3.1 Schemat przedstawiający ideę metody konfiguracji naczyń szklanych z użyciem autorskiego systemu poszerzonej rzeczywistości
 Figure 3.1 Diagram showing the idea of a container configuration method using the elaborated Augmented Reality system

Rozdział 4

System wspomaganie procesu projektowania naczyń szklanych

W rozdziale tym przedstawiony został opracowany przez autora system informatyczny wspomaganie procesu projektowania naczyń szklanych bazujący na autorskiej metodzie konfiguracji produktowej oraz technik poszerzonej rzeczywistości.

Zaprezentowana została architektura systemu wraz z opisem jego komponentów oraz technik programistycznych, które zostały użyte do wykonania tego systemu.

Przybliżony został również proces opracowania modeli parametrycznych naczyń, które są obiektem konfigurowania, proces projektowania znaczników poszerzonej rzeczywistości oraz graficzny interfejs użytkownika.

4.1. Architektura systemu

Opracowany system stanowi programową integrację aplikacji klasy multimedialnej, silnika gier Unity3D (z zaimplementowaną biblioteką poszerzonej rzeczywistości Vuforia SDK) z inżynierskim systemem klasy CAx - Creo Parametric. Uzyskanie tej integracji wymagało powiązania ze sobą tych systemów przy wykorzystaniu otwartych interfejsów programistycznych, a mianowicie:

- VB.Net API w przypadku Creo Parametric,
- języka C# w przypadku Unity3D.

Docelowo komponenty systemu będą działały na różnych platformach sprzętowych oraz pod kontrolą różnych systemów operacyjnych. Realizowane przez system operacje wymagały podziału funkcjonalnego na trzy części, z których dwie działają na stacjonarnej stacji roboczej, a jedna na urządzeniu mobilnym:

1. System CAx,
2. Moduł integrujący w postaci aplikacji utworzonej w języku VB.Net,
3. Aplikacja mobilna posiadająca funkcjonalność wyświetlania modeli w poszerzonej rzeczywistości, utworzona w środowisku Unity3D.

Taki podział sprawia, że konieczne było dostosowanie części programu do działania pod różnymi systemami operacyjnymi. Na stacji roboczej system operacyjny

określony jest przez wybrany system CAx, który działa tylko i wyłącznie pod kontrolą MS Windows.

Część systemu przeznaczona na urządzenia mobilne została utworzona w środowisku Unity3D, dzięki czemu może zostać skompilowana na kilka różnych systemów mobilnych (smartfonów lub tabletów wyposażonych we wbudowaną kamerę video): Android, MS Windows oraz iOS.

Żeby mogły być realizowane procesy związane z konfiguracją modeli naczyń, konieczne było opracowanie i zapisanie w pamięciach urządzeń części modeli (elementów składowych naczyń, patrz rozdz. 4.4). Modele przeznaczone do użycia w systemie CAx wykonane zostały jako parametryczne, natywne dla systemu Creo Parametric. Natomiast modele, które są używane na urządzeniu mobilnym - w formacie neutralnym OBJ.

W trakcie wykonywania działań projektowych odbywa się komunikacja oraz wymiana danych pomiędzy wszystkimi częściami systemu, dlatego też do jego działania wymagany jest dostęp do sieci wewnętrznej lub internetowej (w zależności od realizowanego scenariusza pracy).

Szczegółowa architektura systemu przedstawiona została na rysunku 4.1.

4.2. Interfejsy oraz środowisko programistyczne

Jak zostało to zarysowane w rozdziale 4.1, do powiązania różnych środowisk - Unity3D oraz Creo Parametric - zastosowane zostały różne techniki programistyczne. Do uzyskania interakcji z Creo Parametric użyty został interfejs programistyczny tej aplikacji w języku Visual Basic.Net, podczas gdy do utworzenia aplikacji w środowisku Unity3D użyty został język C#. Pisanie kodu programistycznego w obydwu przypadkach odbywało się w środowisku Visual Studio Express.

4.2.1 System Creo Parametric¹ – Visual Basic Api

Wszystkie działania programistyczne dotyczące użycia narzędzi VB API autor wykonał w oparciu o instrukcję (PTC, 2015) dostarczaną razem z oprogramowaniem Creo Parametric.

Poradnik opisuje jak używać VB API, które umożliwia rozwój asynchronicznych aplikacji w językach VB.Net oraz VBA (Visual Basic for Applications), które współpracują z Creo Parametric w oparciu o technologię COM (Component Object Model) (MSDN, 2017; Thai, 1999). Zasada działania tych aplikacji opiera się na uzyskiwaniu dostępu do wewnętrznych komponentów sesji, dzięki czemu możliwa jest edycja modeli. Oprócz tego możliwe jest również:

- tworzenie formularzy VB.Net, które umożliwiają uruchamianie Creo Parametric w trybie bez interfejsu graficznego (ang. *non-graphically*), przekazywaniu danych wejściowych, wykonywanie modyfikacji na podstawie tych danych i zwracaniu wyników,

¹W momencie rozpoczęcia pisania pracy najnowszą dostępną wersją użytego systemu CAx była wersja Creo Parametric 3. W trakcie trwania badań została przez producenta wydana nowsza wersja i w związku z tym do kontynuowania prac autor użył właśnie tej, czyli Creo Parametric 4. Wymagało to wprowadzenia drobnych korekt w Visual Basic Api, lecz nie wpłynęło znacząco na działanie systemu AR.

- tworzenie aplikacji VB.Net (które mogą, ale nie muszą posiadać własnego interfejsu graficznego użytkownika) umożliwiające modyfikację interfejsu Creo Parametric oraz ustanawianie procesów nasłuchujących zdarzeń w sesji (ang. *event listeners*) i przetwarzania ich.

Ograniczenia VB API są następujące:

- połączenia z Creo Parametric muszą być nawiązywane tylko i wyłącznie z jednego wątku; inne wątki mogą przetwarzać dane niezwiązane z Creo Parametric i przekazywać je do głównego wątku,
- może być tylko jedno aktywne połączenie z sesją Creo Parametric w danym momencie.

W ramach badań utworzona została aplikacja okienkowa, której zadaniem jest:

- uruchamianie oraz zamykanie sesji Creo Parametric,
- nawiązywanie połączeń z Creo Parametric w celu:
 - wgrania oraz zapisywania modeli 3D,
 - pobierania oraz przekazywania parametrów z modeli 3D,
 - wykonywania operacji na modelach,
- komunikacja poprzez protokół TCP/IP z urządzeniem mobilnym, w tym odbieranie oraz przekazywanie danych (plików XML oraz modeli 3D).

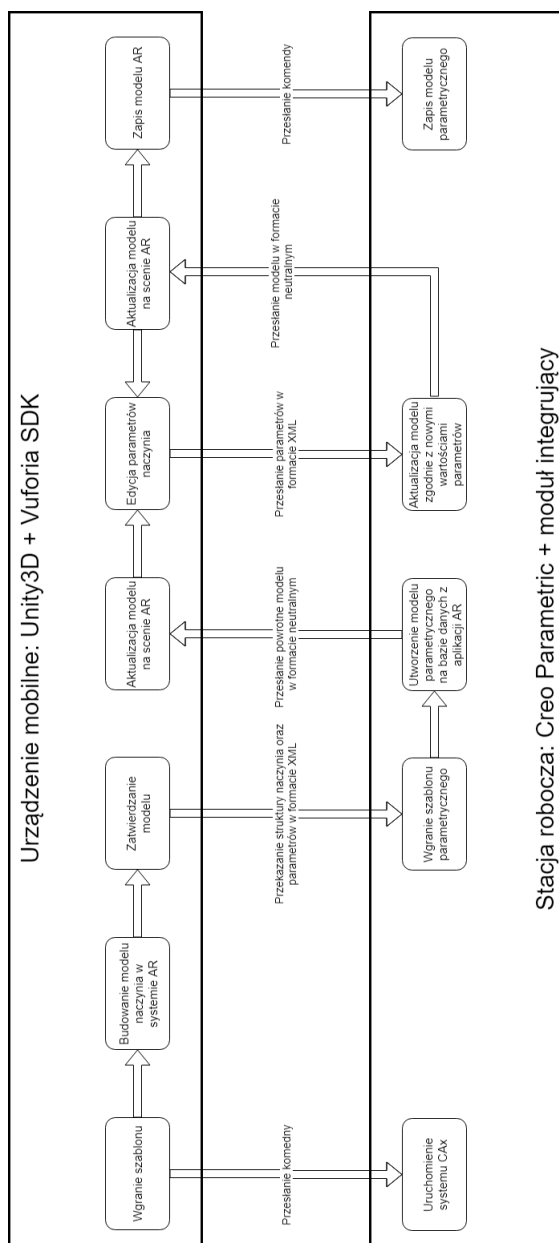
Zgodnie z zamierzeniem autora aplikacja realizuje zadania automatycznie, niemniej jednak został wykonany interfejs, który służy do wyświetlania informacji związanych z realizowanymi operacjami. Interfejs ten został przedstawiony na rysunku 4.2. Aplikacja składa się z dwóch części:

1. części wykonanej w języku C#, w której został utworzony interfejs graficzny, która odpowiada za komunikację i wymianę danych z aplikacją mobilną oraz za niektóre, mniej złożone, operacje realizowane w Creo Parametric, jak np.:
 - uruchamianie oraz wyłączanie Creo Parametric,
 - nawiązywanie oraz rozłączanie połączenia z instancją Creo Parametric,
 - aktualizacje oraz odświeżenie modelu,
2. części utworzonej w języku VB.Net, która odpowiada za złożone działania związane z operacjami na modelach.

Z uwagi na fakt, że główny proces aplikacji (związany z interfejsem graficznym) realizowany jest w języku C#, wszystkie funkcjonalności napisane w języku VB.Net są wywoływane i uruchamiane z tego poziomu.

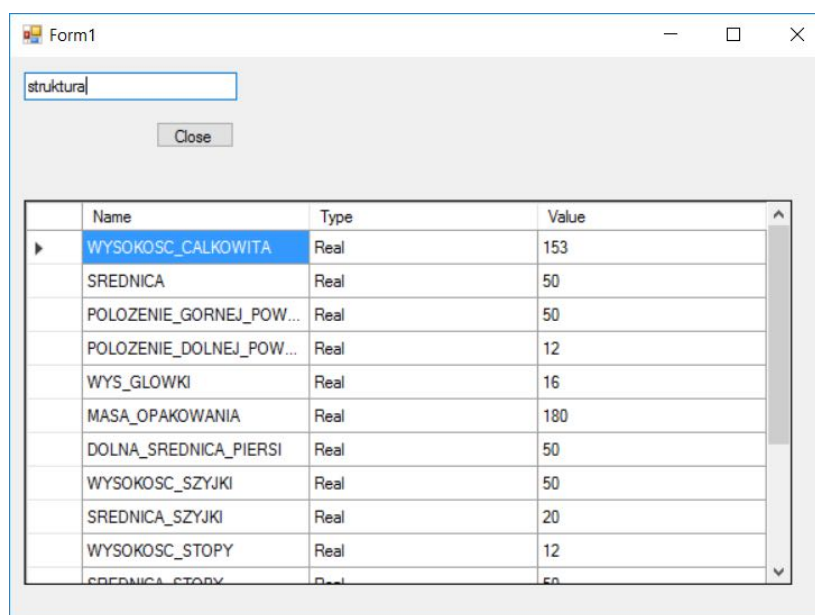
Do tworzenia aplikacji użyte, a następnie zaadaptowane zostały przykładowe biblioteki dostarczane razem z aplikacją Creo Parametric. Zastosowane zostały biblioteki służące do:

- dodania do modelu pliku UDF (User Defined Feature) z biblioteki (klasa `pfcFeaturesExamples`),
- odczytania oraz wgrania do modelu listy parametrów (klasy: `parameters`, `PDUtills`),
- wgrania oraz wyświetlenia na ekranie modelu (klasa `pfcModelsExamples`).



Rysunek 4.1: Architektura systemu wspomagania procesu projektowego naczyń szklanych technikami poszerzonej rzeczywistości z podziałem na procesy realizowane na urządzeniu mobilnym i na stacji roboczej klasy PC

Figure 4.1: The architecture of glass container design process support system with augmented reality techniques, divided into processes carried out on a mobile device and a PC workstation



	Name	Type	Value
▶	WYSOKOSC_CALKOWITA	Real	153
	SREDNICA	Real	50
	POLOZENIE_GORNEJ_POW...	Real	50
	POLOZENIE_DOLNEJ_POW...	Real	12
	WYS_GLOWKI	Real	16
	MASA_OPAKOWANIA	Real	180
	DOLNA_SREDNICA_PIERSI	Real	50
	WYSOKOSC_SZYJKI	Real	50
	SREDNICA_SZYJKI	Real	20
	WYSOKOSC_STOPY	Real	12
	SREDNICA_STOPY	Real	50

Rysunek 4.2: Widok interfejsu użytkownika aplikacji utworzonej w VB API dla Creo Parametric z wgranymi parametrami modelu 3D naczynia

Figure 4.2: User interface of application made in VB API for Creo Parametric with loaded parameters of 3D model of glass container

Pozostałe - opracowane samodzielnie przez autora - istotne operacje realizowane z użyciem VB API to:

- odczytywanie pojemności naczynia bezpośrednio z modelu,
- czyszczenie sesji (usuwanie modelu z pamięci),
- zapisywanie modelu we wskazanej lokalizacji,
- zmiana lokalizacji,
- dodawanie zdefiniowanych relacji wiążących elementy geometryczne modelu,
- eksport modelu parametrycznego do formatu OBJ (do realizacji tej operacji konieczne było opracowanie przez autora stosownego makra i uruchamianie go z poziomu VB API).

4.2.2 System Unity3D² – C#

System Unity3D został użyty do utworzenia aplikacji AR przeznaczonej na urządzenia mobilne. Docelowo Unity3D umożliwia kompilowanie aplikacji na większość

² Autor rozpoczął prace nad utworzeniem systemu AR używając wersji Unity3D w wersji 5.x - istniała wtedy konieczność pobrania biblioteki programistycznej poszerzonej rzeczywistości Vuforia SDK ze strony producenta oraz manualnej jej instalacji w środowisku Unity3D poprzez funkcjonalność importowania dodatków (ang. *import package*). W trakcie postępu prac producent wydał wersję Unity3D 2017.2, w której biblioteki programistyczne Vuforia SDK zostały programowo zintegrowane i od tego momentu stanowią jednolite środowisko. Autor dokonał aktualizacji Unity3D do wersji 2017.2 - wymagało to wykonania dodatkowych prac związanych z tzw. migracją projektu z wersji Vuforia 6.2 do 6.5 (w wyniku zmiany wersji Unity3D zgodnie ze scenariuszem „Migrate Unity Project from Vuforia 6.2 to 6.5” opisanym na stronie producenta <https://library.vuforia.com/articles/Solution/migrate-vuforia-62-to-65.html>). W wyniku tego działania uzyskano większą elastyczność i nowoczesność tworzonego systemu.

będących obecnie w użyciu platform (patrz rozdział 2.3.2), niemniej jednak biblioteki poszerzonej rzeczywistości, które zostały wgrane do Unity3D jako dodatek, działają na trzech platformach: Android, iOS oraz UWP (patrz rozdział 2.3.1).

Utworzenie aplikacji obejmowało realizację następujących działań:

- utworzenie interfejsu użytkownika,
- utworzenie sceny,
- utworzenie kodu programistycznego (tzw. skryptów), który realizuje podstawowe zadania związane z działaniem aplikacji.

Utworzenie sceny w środowisku Unity3D polega na właściwym rozmieszczeniu oraz powiązaniu ze sobą obiektów, w tym: elementów interfejsu użytkownika, modeli 3D, świateł itd.

W opisywanej aplikacji scena definiowana była do użycia w środowisku poszerzonej rzeczywistości, więc jej podstawowymi elementami były komponenty dodatku VuforiaSDK: „ARCamera” oraz „ImageTarget” (Vuforia, 2017; PTC, 2017).

Z uwagi na dużą objętość i złożoność kodu programistycznego oraz w celu łatwiejszego nim zarządzania, został on podzielony na części (tzw. skrypty), które służą do realizacji określonych zadań. W związku z tym zostały utworzone następujące autorskie skrypty:

- Nadrzędny - w skrypcie tym zdefiniowane są reguły, które służą do sterowania widocznością obiektów interfejsu graficznego. Reguły te oparte są o:
 - tzw. wyzwalacze (ang. *triggers*), które związane są ze zdarzeniami, np. z naciśnięciem przycisku; zdarzenie takie może powodować rozpoczęcie innego zdarzenia, np. ukrycie innego przycisku lub pokazanie menu,
 - pętle sprawdzające, które zawierają warunki, np.: jeśli model 3D naczynia jest kompletny, pokaż przycisk aktualizujący model 3D w systemie CAx.
- Zarządzający kolorami - skrypt zarządzania kolorami umożliwia dostęp do ustawień cieniowania modeli 3D wyświetlanych na scenie i umożliwia edycję kolorów, transparentności oraz innych właściwości związanych z ich wyglądem.
- Służący do komunikacji ze stacją roboczą - zawiera kod odpowiedzialny za komunikację z aplikacją działającą na stacji roboczej (związaną z działaniami wykonywanymi w systemie CAx); odpowiada między innymi za uruchamianie oraz zamykanie całego systemu oraz za przesyłanie komend, za wymianę danych z systemem CAx (odbieranie modeli 3D w formacie neutralnym, przesyłanie oraz odbieranie parametrów w formacie xml).
- Zarządzający zmianą modeli przypisanych do znaczników - w skrypcie tym zawarty jest kod, który umożliwia wczytywanie do pamięci urządzenia wielu modeli 3D, które są przypisane do danej klasy znacznika. Następnie z poziomu interfejsu użytkownika (za pomocą przycisków wyświetlanych na ekranie) umożliwia przełączanie się pomiędzy tymi modelami.
- Zarządzający strukturą oraz spójnością modelu naczynia - odpowiada za rejestrowanie struktury skonfigurowanego naczynia oraz jego atrybutów, a następnie zapisanie tych danych do pliku zewnętrznego (w programowaniu proces ten nazywany jest serializacją danych).

- Importu oraz eksportu parametrów - skrypt ten zawiera metody, które umożliwiają zapisanie parametrów z systemu AR do pliku zewnętrznego (serializację) oraz wczytanie parametrów przesłanych z systemu CAx (deserializację).
- Importu modelu na scenę z neutralnego formatu OBJ - do realizacji operacji importu wyeksportowanego z systemu CAx i przesłanego na urządzenie mobilne modelu 3D w formacie neutralnym OBJ zastosowany został skrypt, który wykonuje działania związane z konwersją danych w postaci ciągu znaków (ang. *string*) na siatkę trójkątów w formacie natywnym Unity3D. Następnie obecny na scenie model 3D jest usuwany, a zaimportowany model jest przypisywany do określonego znacznika.
- Zapisu modelu (serializacji modelu do pliku) - do zapisu modelu 3D skonfigurowanego w aplikacji Unity3D użyty został skrypt, który służy do eksportu tego modelu do pliku, który jest ciągiem znaków reprezentującym pozycje w przestrzeni wierzchołków trójkątów, odcinków łączących te wierzchołki oraz współrzędnych UV.
- Zarządzający funkcjonalnościami menu przywoływanego gestem dotykowym - w skrypcie tym został zdefiniowany typ wyliczeniowy (ang. *enumeration*), który określa kierunki wykonywania gestów (w tym przypadku: przeciągnięcie po ekranie w lewą i w prawą stronę), a we wbudowanej w Unity3D pętli zostały utworzone metody sprawdzające czy gesty zostały wykonane. Jeżeli został wykonany gest przywołujący menu, to odgrywana zostaje animacja, która powoduje płynne pojawienie się menu. Gest odwrotny powoduje ukrycie menu.
- Określający reguły sprawdzające - w skrypcie tym zostały zawarte reguły, które sprawdzają poprawność wprowadzanych wartości w menu, które służą do edycji modelu 3D naczynia. Reguły te uniemożliwiają wprowadzenie wartości parametrów, które nie byłyby zgodne z technologią produkcji naczynia i mogłyby uniemożliwić jego wyprodukowanie (np. zbyt duża wysokość lub średnica).

Skrypty przypisane są do obiektów (którymi mogą być wszystkie elementy znajdujące się na scenie) oraz są ze sobą na różne sposoby powiązane:

- przekazywane są pomiędzy nimi dane,
- wywoływane są metody zawarte w jednym skrypcie z poziomu innych.

Każdy model składa się z elementów składowych, które są przypisane do określonego typu znacznika (patrz rozdz. 4.4 i 4.5): korpusu, szyjki, stopy i główki.

Do składania modeli w Unity3D posłużono się funkcjonalnością tworzenia instancji (ang. *instantiate*), która umożliwia wczytywanie i umieszczanie modeli na scenie modeli dopiero wtedy, gdy mają być użyte.

4.3. Algorytmy działania systemu

Główne założenia, na jakich opiera się działanie opisywanego systemu to:

1. zdefiniowany podział zadań jakie są realizowane przez poszczególne moduły, a więc przez aplikację mobilną, system parametryczny oraz moduł integrujący,
2. przepływ komunikacji w jednym kierunku - od aplikacji mobilnej do modułu integrującego, a następnie od modułu integrującego do systemu parametrycznego,
3. przepływ danych w obydwu kierunkach; ustalony został system komend, które są przekazywane z aplikacji mobilnej do modułu integrującego z użyciem protokołu komunikacyjnego TCP/IP,
4. aplikacja mobilna pełni w całym systemie funkcję nadrzędną, podczas gdy moduł integrujący pośredniczy w przekazywaniu danych,
5. proces konfiguracji posiada dwie fazy: wstępna konfiguracja kształtu oraz określanie wymiarów,
6. konfiguracja oparta o zdefiniowane wcześniej elementy składowe naczynia, które zapisane zostały w dwóch lokalizacjach: pamięci urządzenia mobilnego oraz pamięci stacji roboczej; elementy z obydwu lokalizacji odpowiadają sobie pod względem geometrycznym.

Modułowa architektura systemu związana jest z zadaniami, które są przez niego realizowane (konfiguracja modeli 3D naczyń szklanych w środowisku poszerzonej rzeczywistości w dowolnej lokalizacji z udziałem klienta i równoległe w pełni zautomatyzowane tworzenie modeli parametrycznych), a w związku z tym z rodzajem danych, które przetwarza (modele 3D w formacie OBJ, modele parametryczne, atrybuty modeli naczyń).

Każdemu modułowi zostały przypisane określone zadania, które ma realizować. Tak więc w aplikacji mobilnej realizowane są zadania związane z:

1. wyświetlaniem modeli w środowisku poszerzonej rzeczywistości,
2. łączeniem części naczynia w całość,
3. prezentacją oraz edycją parametrów naczynia,
4. przekazywaniem informacji o uruchomieniu lub zamknięciu systemu parametrycznego,
5. przekazywaniem parametrów w postaci pliku w formacie xml do modułu integracyjnego.

Główne operacje wykonywane przez moduł integrujący związane są z odbieraniem komend i uruchamianiem zadań w systemie parametrycznym, jak również z pośredniczeniem w wymianie danych pomiędzy aplikacją mobilną, a systemem parametrycznym.

W module integrującym został również zaimplementowany słownik, który służy do tłumaczenia parametrów zapisanych w formacie xml na formę, która jest przekazywana do Creo Parametric, jak również w drugą stronę - odczytuje parametry z Creo Parametric i zapisuje je do formatu xml.

Słownik komend składa się z następujących poleceń:

- START

- STRUKTURA
- AKTUALIZUJ MODEL
- ZAPISZ
- WGRAJ
- KONIEC

Komenda START powoduje uruchomienie na stacji roboczej systemu Creo Parametric, a komenda KONIEC jego zamknięcie.

Komenda STRUKTURA powoduje uruchomienie szeregu następujących po sobie operacji:

1. odczyt i zapis pliku xml ze strukturą naczynia,
2. wgranie w Creo Parametric szablonu według pliku xml i wczytanie parametrów do tabeli modułu integracyjnego,
3. wczytanie parametrów do wgranego szablonu oraz jego aktualizację,
4. złożenie naczynia ze zdefiniowanych w pliku xml modeli zapisanych jako parametryczne cechy postaciowe naczynia zdefiniowane przez użytkownika (ang. *user defined features*, UDF), dynamiczne utworzenie relacji wiążących wstawiane elementy z szablonem, propagacja parametrów z szablonu na komponenty, a następnie aktualizacja szablonów z nowymi parametrami,
5. eksport kompletnego modelu do formatu neutralnego OBJ,
6. pobranie danych z modelu i zapisanie ich do formatu xml,
7. przesłanie modelu w formacie neutralnym OBJ do urządzenia mobilnego,
8. przesłanie pliku xml z parametrami do urządzenia mobilnego.

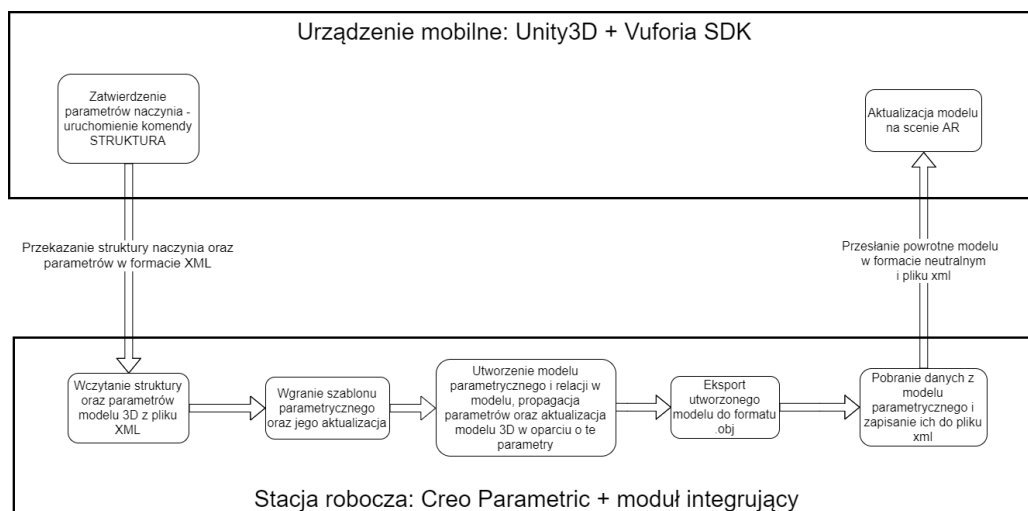
Przebieg procesu związanego z wykonywaniem operacji uruchamianych komendą STRUKTURA pokazany został na rys. 4.3.

Komenda AKTUALIZUJ MODEL powoduje uruchomienie następujących operacji:

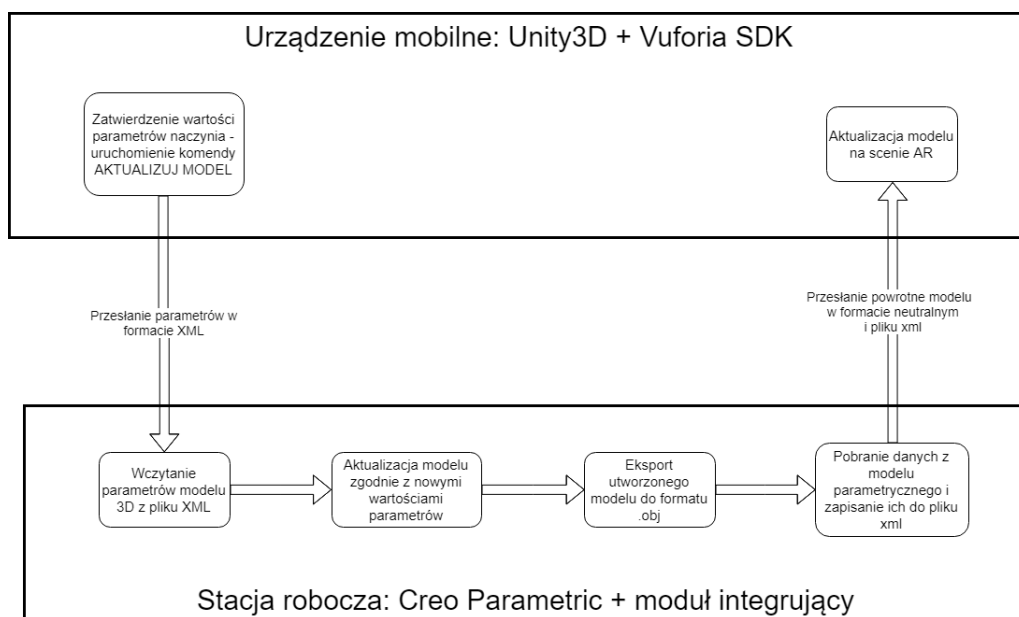
1. odbieranie pliku ze strukturą modelu naczynia w formacie xml z urządzenia mobilnego,
2. czyszczenie tabeli modułu integracyjnego, wgranie parametrów do tabeli oraz do modelu,
3. aktualizacja modelu z nowymi parametrami,
4. eksport zaktualizowanego modelu do formatu neutralnego OBJ,
5. pobranie danych z modelu i zapisanie ich do formatu xml,
6. przesłanie modelu w formacie neutralnym OBJ do urządzenia mobilnego,
7. przesłanie pliku xml z parametrami do urządzenia mobilnego.

Przebieg procesu związanego z wykonywaniem operacji uruchamianych komendą AKTUALIZUJ MODEL pokazany został na rys. 4.4.

Komenda ZAPISZ powoduje zapisanie modelu, a komenda WGRAJ jego wczytanie i wyświetlenie na ekranie.



Rysunek 4.3: Schemat przebiegu procesu uruchomionego komendą STRUKTURA
 Figure 4.3: Schema of the process started with the STRUKTURA command



Rysunek 4.4: Schemat przebiegu procesu uruchomionego komendą AKTUALIZUJ MODEL
 Figure 4.4: Schema of the process started with the AKTUALIZUJ MODEL command

4.4. Modele parametryczne naczyń szklanych

Opracowane modele parametryczne można podzielić na dwie grupy:

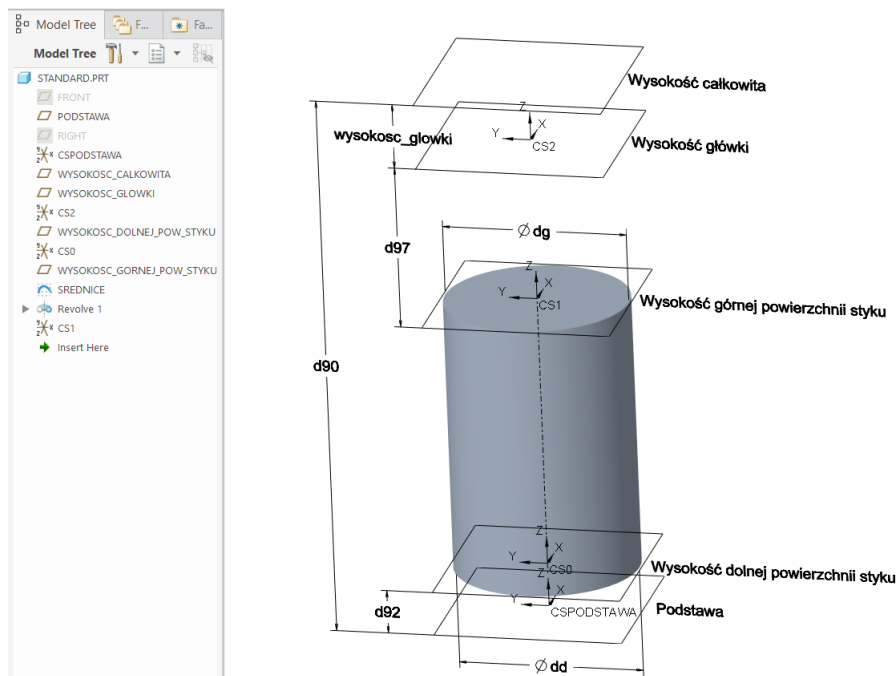
1. szablony (ang. *templates*),
2. parametryczne cechy postaciowe naczynia zdefiniowane przez użytkownika.

Szablony zostały opracowane jako modele szkieletowe zawierające dane części naczynia:

- model 3D korpusu,
- strukturę geometryczną - w postaci układów współrzędnych, płaszczyzn oraz punktów,
- predefiniowane parametry modelu 3D naczynia (odzwierciedlające wybrane wymiary geometryczne oraz masę i pojemność).

Do celów badań opracowane zostały trzy modele korpusów:

1. walcowy bez pola etykietowego (rys. 4.5, lista parametrów oraz relacji modelu 3D - tabela 4.1),
2. walcowy z polem etykietowym,
3. stożkowy z polem etykietowym.



Rysunek 4.5: Szablon zawierający korpus walcowy bez pola etykietowego z widocznym drzewem topologicznym oraz parametrami

Figure 4.5: Template containing included cylindrical body without label area of the 3D model of a container, with visible topological tree and parameters

Model szkieletowy stanowi strukturę geometryczną do pozostałych części naczynia, które będą konfigurowane. Role elementów szkieletu są następujące:

1. układy współrzędnych służą do definiowania położenia części naczynia, które będą wstawiane,
2. płaszczyzny są elementami wiążącymi - odpowiedniki tych płaszczyzn znajdują się we wstawianych częściach i po wstawieniu są wiązane poprzez relacje,
3. punkty oraz powiązane relacjami płaszczyzny są elementami sterującymi postacią geometryczną modelu naczynia.

Tablica 4.1: Lista parametrów razem z ich wartościami oraz relacji modelu parametrycznego 3D (rys. 4.5) (zachowano oryginalne nazewnictwo systemu CAX)
 Table 4.1: List of parameters with their values and relations of parametric 3D model (fig. 4.5) (the original naming of the CAX system was preserved)

Lista parametrów modelu parametrycznego 3D	
Nazwa parametru	Wartość
WYSOKOSC_CALKOWITA	150.00
SREDNICA	50.00
POLOZENIE_GORNEJ_POW_STYKU	45.00
POLOZENIE_DOLNEJ_POW_STYKU	12.00
SREDNICA_STANIA	38.00
MASA_OPAKOWANIA	180.00
DOLNA_SREDNICA_PIERSI	50.00
WYSOKOSC_SZYJKI	50.00
SREDNICA_SZYJKI	20.00
WYSOKOSC_STOPY	12.00
GORNA_SREDNICA_STOPY	50.00
SR_STANIA	36.00
SREDNICA_SZYJKI_GLOWKI	20.00
WYS_GLOWKI	14.00
WYSOKOSC_PIERSI	50.00
SREDNICA_PIERSI	50.00
Lista relacji wiążących parametry w parametrycznym modelu 3D	
D90 = WYSOKOSC_CALKOWITA D97 = POLOZENIE_GORNEJ_POW_STYKU D92 = POLOZENIE_DOLNEJ_POW_STYKU DG = SREDNICA DD = DG	

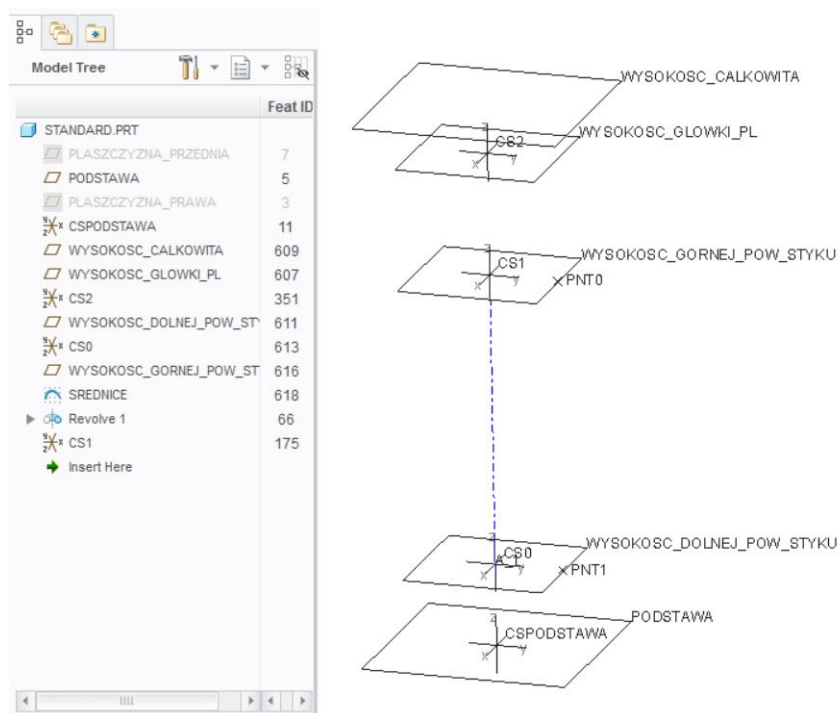
Predefiniowane parametry szablonu związane są z wymiarami gabarytowymi naczynia, które są niezależne od jego części składowych (jak np. wysokość całkowita, średnica maksymalna itd.) lub z jego właściwościami fizycznymi (np. masa, gęstość itd.).

Przykład szablonu z widoczną strukturą drzewa operacji został pokazany na rysunku 4.6.

Parametryczne cechy postaciowe modelu naczynia są jego częściami utworzonymi jako osobne modele 3D, posiadające zdefiniowaną strukturę drzewa topologicznego oraz parametry postaci geometrycznej. Dodatkowo do każdej parametrycznej cechy postaciowej zostały opracowane relacje logiczne, które powodują aktualizację jej wymiarów w relacji do wartości wymiarów innych części modelu naczynia, z którymi ma współpracować. Relacje te są warunkami w postaci:

$$\text{Jeżeli } [(wymiaryD1 > x) \wedge (wymiaryD2 > Y)] \Rightarrow [(wymiaryD3 = w) \wedge (wymiaryD4 = z) \wedge \dots]$$

Warunki zostały ustanowione dla przedziałów wartości głównych wymiarów naczynia, np. dla średnicy całkowitej, wysokości szyjki, wysokości całkowitej



Rysunek 4.6: Szablon z widoczną strukturą geometryczną modelu 3D oraz drzewem topologicznym

Figure 4.6: Template with geometric structure of a 3D model and model tree visible

naczynia itd. W efekcie po przekroczeniu pewnej założonej wartości danego wymiaru (np. średnicy całkowitej), wartości parametrów części naczynia, które nie są sterowane bezpośrednio z interfejsu systemu (np. wartości promieni zaokrągleń szyjki, kąty pochylenia szyjki, zaokrąglenie stopy przy podstawie itd.) są aktualizowane i ich wartości w zależności od potrzeby odpowiednio zwiększane lub zmniejszane.

Zarówno postać warunków logicznych jak i przedziały, w których odbywają się zmiany wartości parametrów, zostały opracowane przez autora empirycznie, gdyż są one zależne od postaci geometrycznej danej części oraz od stopnia jej złożoności.

Do celów badań zostały opracowane następujące parametryczne cechy postaciowe naczyń zdefiniowane przez użytkownika (ich rysunki zostały zawarte w załączniku A):

1. główka,
 - (a) koronowa (rys. A.1a),
 - (b) gwintowana (rys. A.1b),
 - (c) pod korek (rys. A.1c).
2. szyjka,
 - (a) do piwa (rys. A.2),
 - (b) do wina (rys. A.3),

- (c) do soku (rys. A.4),
- (d) do szampana (rys. A.5),
- (e) do wódki (rys. A.6),
- (f) do farmaceutyków (rys. A.7).

3. stopa,

- (a) z promieniem okrągłym (rys. A.8),
- (b) ze stożkiem (rys. A.9).

Parametryczne cechy postaciowe naczynia definiowane przez użytkownika jako modele 3D nie różnią się od standardowych modeli parametrycznych, natomiast należy przy ich definiowaniu ściśle przestrzegać pewnych zasad. Procedurę ich tworzenia należy rozpocząć na wcześniej utworzonym fragmencie modelu. Pierwszą operacją powinno być utworzenie układu współrzędnych. Wszystkie kolejno tworzone elementy geometryczne powinny być związane tylko z tym układem lub ze sobą wzajemnie. Następnie należy tak zdefiniowany fragment modelu wyeksportować jako parametryczną cechę postaciową (według ściśle określonej w danym systemie parametrycznym procedury) i zapisać w bibliotece.

4.5. Dobór znaczników

Projektując znaczniki poszerzonej rzeczywistości autor kierował się zasadami opisanymi w rozdziale 2.3.1. Do utworzenia znaczników została użyta aplikacja graficzna GIMP.

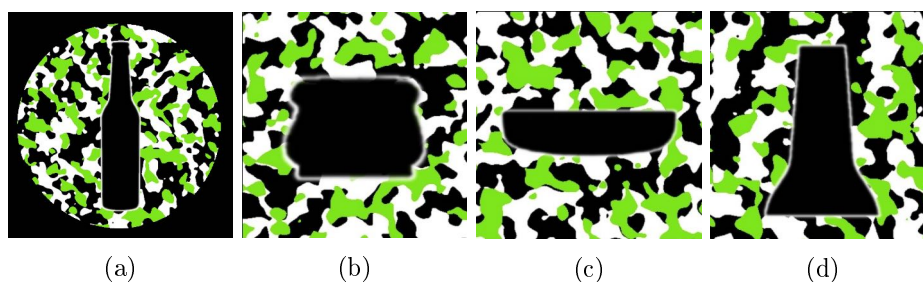
Autor po przeprowadzeniu prób empirycznych doszedł do wniosku, że najlepiej sprawdza się generowanie losowych wzorów z użyciem funkcjonalności programu GIMP o nazwie: Script-fu: Kamuflaż (która zagnieżdżona jest w grupie narzędzi o nazwie Deseń). Użycie białego oraz czarnego koloru (oprócz trzeciego, który jest dowolny i wpływa na atrakcyjność wizualną) zapewnia właściwy kontrast. Algorytmy tego narzędzia zapewniają możliwość wygenerowania nieskończonej liczby unikalnych znaczników.

Na wygenerowane znaczniki zostały nałożone jednolicie czarne kształty części naczynia, które umożliwiają odróżnienie, który model 3D naczynia jest przypisany do danego znacznika. Na głównym znaczniku, który jest używany do konfiguracji naczynia, został umieszczony kształt całego naczynia.

Znaczniki w swojej ostatecznej formie zostały pokazane na rysunkach 4.7a, 4.7b, 4.7c i 4.7d.





Wszystkie cztery znaczniki uzyskały najwyższą ocenę przyznaną przez narzędzie Target Manager na portalu developerskim Vuforia (rys. 4.8). Na rysunku 4.9 został pokazany widok jednego ze znaczników z zaznaczeniem rozpoznanych cech charakterystycznych. Tak duża liczba cech charakterystycznych sprawia, że system z łatwością rozpoznaje znacznik. Czas oczekiwania na rozpoznanie jest bardzo krótki - poniżej 1 s. Dużo mniejsze znaczenie mają takie czynniki jak: warunki oświetlenia i jakość kamery (rozdzielczość matrycy, jasność obiektywu). Sam proces śledzenia również przebiega sprawniej - rejestrowanie znacznika może odbywać się pod dużo większym kątem.

Reasumując, w przypadku właściwie opracowanych znaczników proces konfiguracji przebiega bardzo stabilnie.



Rysunek 4.7: Finalna forma znaczników, do których przypisane są modele 3D poszczególnych części naczynia: a) korpus (główny znacznik), b) główka, c) stopa, d) szyjka

Figure 4.7: The final form of AR markers to which 3D models of particular parts of container was assigned: a) body (main AR marker) , b) finish, c) heel, d) neck

<input type="checkbox"/> Target Name	Type	Rating
<input type="checkbox"/>  Marker3	Single Image	★★★★★
<input type="checkbox"/>  Marker4	Single Image	★★★★★
<input type="checkbox"/>  Marker2	Single Image	★★★★★
<input type="checkbox"/>  Marker1	Single Image	★★★★★

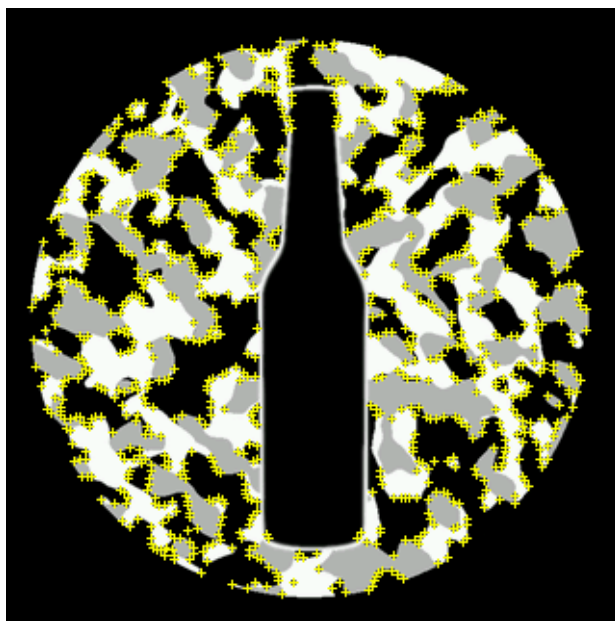
Rysunek 4.8: Ocena znaczników przyznana przez narzędzie Target Manager na portalu developerskim Vuforia

Figure 4.8: Marker assessment granted by Target Manager tool on Vuforia developer portal

4.6. Graficzny interfejs użytkownika aplikacji AR

Do tworzenia interfejsu użytkownika (ang. *user interface*, UI) w środowisku Unity3D służą narzędzia z grupy UI. Podstawowym elementem, na bazie którego są tworzone pozostałe elementy jest obiekt, którego nazwę można przetłumaczyć jako: płótno (ang. *Canvas*). Płótno jest obszarem, w obrębie którego są umieszczane pozostałe elementy składające się na interfejs użytkownika. W strukturze zależności rodzic-dziecko, wszystkie elementy interfejsu użytkownika, które znajdują się na danym płótnie muszą być jego dziećmi (Unity, 2017).

Najważniejszym ustawieniem interfejsu użytkownika, które jest definiowane w obiekcie „płótno” jest ustawienie rozdzielczości ekranu oraz - co się z tym wiąże - sposobu skalowania obiektów interfejsu użytkownika, podczas wyświetlania na ekranach o różnych rozdzielczościach. Z uwagi na dużą różnorodność dostępnych na rynku urządzeń, współczesne gry i aplikacje muszą wspierać szeroki zakres rozdzielczości ekranu, a interfejsy użytkownika muszą być projektowane w taki sposób, żeby się do nich łatwo adaptowały (jak również do różnych proporcji ekranów). Często zachodzi też potrzeba wyświetlania zarówno w orientacji ekranu pionowej jak i poziomej. Służą do tego celu dwa narzędzia: kotwica (ang. *anchor*)



Rysunek 4.9: Widok na jeden ze znaczników z zaznaczeniem rozpoznanych cech charakterystycznych

Figure 4.9: One of the markers with marked recognized features

oraz komponent skalowania (ang. *scaler component*).

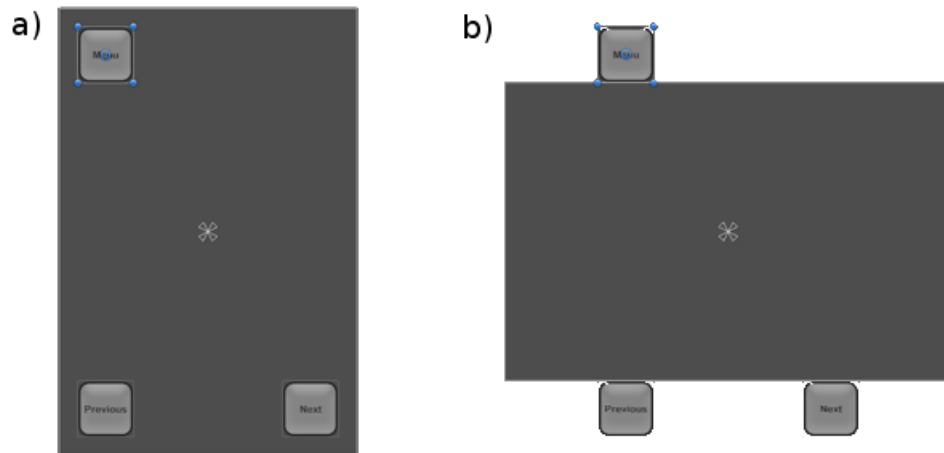
Domyślnie elementy interfejsu użytkownika są zakotwiczone do geometrycznego środka płótna, co oznacza, że będą one zachowywały stałą odległość od niego. W przypadku zmiany rozdzielczości (w związku z - na przykład - zmianą proporcji ekranu) elementy mogą nawet w skrajnym przypadku znaleźć się poza płótnem. Przypadek taki został pokazany na rysunku 4.10.

Narzędzie kotwica umożliwia zdefiniowanie elementów interfejsu użytkownika - w omawianym przypadku są to przyciski - w powiązaniu z narożnikami płótna, w bliskości których te elementy się znajdują. W związku z tym przycisk, który po zmianie orientacji znalazł się poza ekranem powinien zostać związany kotwicą z lewym górnym rogiem płótna. Operacje definiowania rozmieszczenia oraz kotwiczenia elementów interfejsu użytkownika powinny być wykonywane w rozdzielczości, przy której te elementy najlepiej się prezentują. Analogicznie dwa dolne przyciski powinny zostać zakotwiczone do lewego dolnego i prawego dolnego rogu płótna. Po właściwym zakotwiczeniu elementy po zmianie orientacji ekranu znajdują się we właściwych miejscach, co zostało pokazane na rysunku 4.11.

Po zmianie natywnej rozdzielczości wyświetlania elementy interfejsu użytkownika zachowują swoje położenie, niemniej jednak z uwagi na fakt, że zachowują swoją wielkość wyrażoną w pikselach, mogą być wyświetlane jako zbyt duże lub zbyt małe w odniesieniu do wielkości ekranu. Z reguły jest to niepożądane, gdyż w takiej sytuacji elementy mogą stać się słabo widoczne (przy dużo większych rozdzielczościach) lub mogą się na siebie nakładać (przy dużo mniejszych rozdzielczościach). Ta druga sytuacja została pokazana na rysunku 4.12.

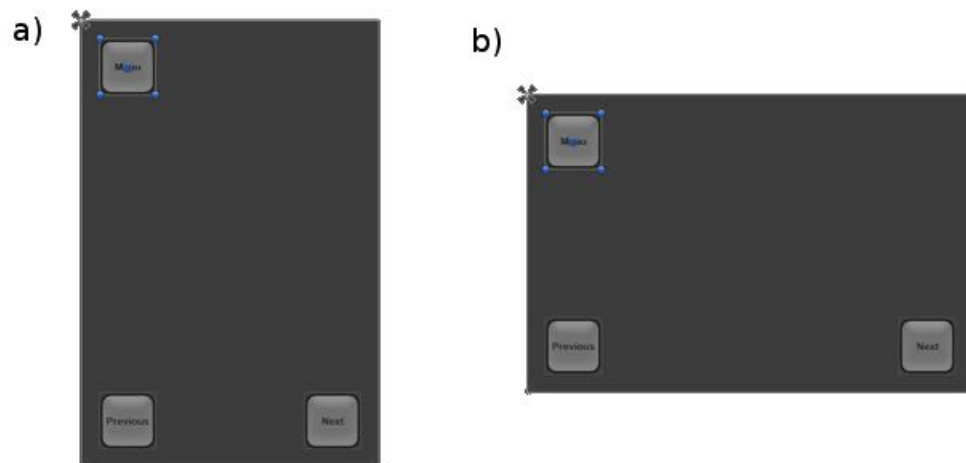
Prawidłowo zdefiniowany interfejs użytkownika powinien zapewniać skalowanie wszystkich elementów w taki sposób, żeby w rozpatrywanym przypadku elementy te były pomniejszane w takim samym stopniu, w jakim natywna rozdzielczość ekranu została zmniejszona. Innymi słowy skala przycisków powinna podążać za wielkością ekranu oraz jego rozdzielczością natywną.

Ostatnim ustawieniem, które należy zdefiniować jest współczynnik, który nazywa się: dopasowanie (ang. *match*). Określa on według którego boku ekranu ma



Rysunek 4.10: Elementy interfejsu użytkownika zakotwiczone w środku płótna po zmianie proporcji ekranu znalazły się poza jego obszarem (obszar ekranu stanowi prostokąt wypełniony ciemnym kolorem): a) orientacja pionowa, b) orientacja pozioma

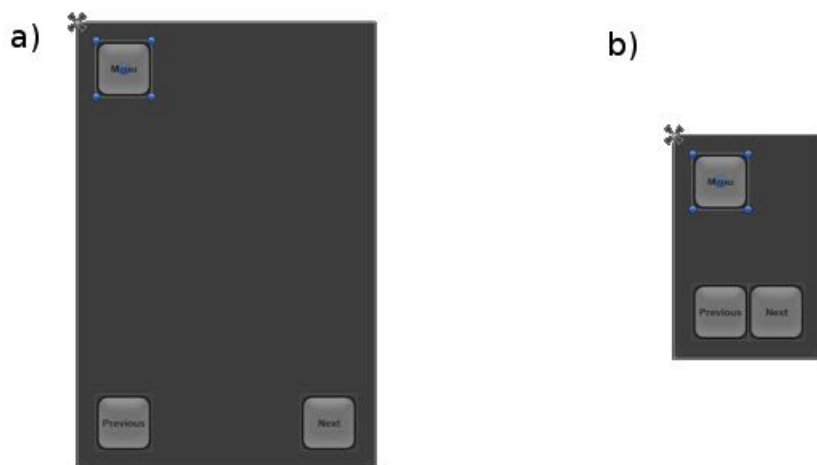
Figure 4.10: UI elements anchored to the center of canvas will be outside of canvas after changing resolution to a different aspect ratio (screen area is marked with dimmed colour): a) vertical screen orientation, b) horizontal screen orientation



Rysunek 4.11: Elementy interfejsu użytkownika zakotwiczone we właściwych miejscach płótna po zmianie proporcji ekranu zachowują swoje położenie (obszar ekranu stanowi prostokąt wypełniony ciemnym kolorem): a) orientacja pionowa, b) orientacja pozioma

Figure 4.11: UI elements anchored to their respective corners stick to them when changing the resolution to a different aspect ratio (screen area is marked with dimmed colour): a) vertical screen orientation, b) horizontal screen orientation

się odbywać skalowanie. Ustawienie 0 oznacza, że będzie się odbywało według szerokości, podczas gdy 1 - według wysokości. Wpisanie wartości 0,5 sprawi, że system będzie porównywał zarówno szerokość jak i wysokość ekranu do określonej



Rysunek 4.12: Elementy interfejsu użytkownika nie są skalowane do natywnej rozdzielczości ekranu (obszar ekranu stanowi prostokąt wypełniony ciemnym kolorem)

Figure 4.12: UI elements keep their original size as specified in pixels (screen area is marked with dimmed colour)

rozdzielczości referencyjnej. Ustawienie dopasowania ma szczególne znaczenie w przypadku zmieniającej się orientacji ekranu z pionowej na poziomą. Dla przykładu ekran o rozdzielczości natywnej określonej w standardzie FullHD ma rozdzielczość w orientacji pionowej: 1080x1920, podczas gdy w orientacji poziomej: 1920x1080. Przy ustawieniu dopasowania na wartość 0, elementy interfejsu użytkownika zostały by proporcjonalnie powiększone (wartość rozdzielczości szerokości ekranu zwiększyła się), podczas gdy powinna pozostać niezmienną. Przykład prawidłowo zdefiniowanych ustawień skalowania został pokazany na rysunku 4.13 (Unity, 2017).

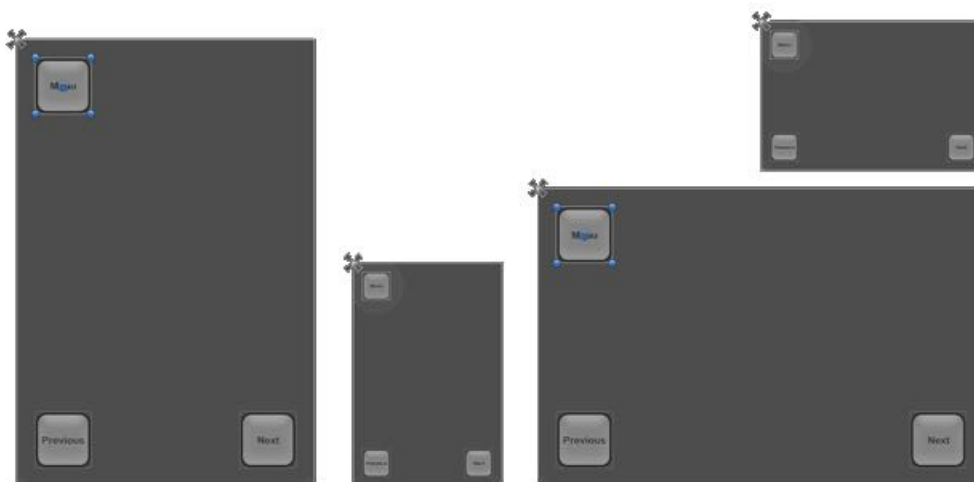
Aplikacja poszerzonej rzeczywistości, która jest obiektem pracy została utworzona w obrębie jednej sceny, a interfejs użytkownika został utworzony z użyciem wielu obiektów typu płótno, na których umieszczone zostały pozostałe elementy:

- Menu startowe,
- Menu głównego interfejsu używania programu,
- Menu wyboru i zmiany modelu przypisanego do znacznika,
- Menu wpisywania parametrów modelu,
- Menu informacyjne dynamicznie wywoływane gestem dotykowym,
- Menu komunikatów systemu, zapisu modelu oraz eksploratora plików.

Widok na ekran startowy aplikacji został pokazany na rysunku 4.14.

Na tym ekranie widoczne są cztery przyciski:

- START - służy do uruchamiania aplikacji poszerzonej rzeczywistości,
- ZAPISZ - służy do zapisywania projektu (skonfigurowanego modelu 3D naczynia); przycisk ten w początkowej fazie jest nieaktywny - uaktywnia się w chwili, gdy złożone są wszystkie elementy naczynia.



Rysunek 4.13: Elementy interfejsu użytkownika skalowane we właściwy sposób dla różnej wielkości oraz różnej orientacji ekranu (obszar ekranu stanowi prostokąt wypełniony ciemnym kolorem)

Figure 4.13: UI elements are scaled in a proper way for different sizes and different aspect ratios (screen area is marked with dimmed colour)

- WGRAJ - służy do wczytywania zapisanych projektów (skonfigurowanych modeli 3D naczyń) z pamięci urządzenia mobilnego,
- KONIEC - służy do zamykania aplikacji.

Oprócz opisanych przycisków, na ekranie startowym widoczna jest również w lewym dolnym rogu ikona kontrolna, która informuje o tym, czy aplikacja mobilna jest połączona z systemem CAx. W przypadku braku połączenia wyświetlana jest ikona koloru czerwonego, a po nawiązaniu połączenia zmienia ona kolor na zielony.

Gdy użytkownik w trakcie konfiguracji naczynia przejdzie do ekranu startowego wyświetlana jest również w prawym dolnym rogu ikona, która umożliwia powrót do wcześniejszego ekranu i kontynuację pracy. Na rysunku 4.15 zostało pokazane główne menu systemu. Z poziomu tego menu dostępne są:

- przyciski służące do konfiguracji naczynia:
 - przycisk „Stopa” - służący do wstawiania stopy naczynia,
 - przycisk „Szyjka” - służący do wstawiania szyjki naczynia,
 - przycisk „Główka” - analogicznie do dwóch poprzednich - służy do wstawiania szyjki naczynia. Przycisk w początkowej fazie jest niewidoczny i pojawia się dopiero po wstawieniu szyjki.
- przycisk wywołujący menu zmiany modelu przypisanego do znacznika,
- przycisk pokazujący podmenu służące do zmiany koloru modelu 3D naczynia; po wybraniu przycisku podpisanego nazwą danego koloru, przypisywany jest on do wszystkich modeli 3D na scenie.
- przycisk „Generuj CAD”, który początkowo jest ukryty i jest pokazywany w momencie, w którym skonfigurowane jest całe naczynie. Wybranie tego



Rysunek 4.14: Widok ekranu startowego interfejsu aplikacji poszerzonej rzeczywistości

Figure 4.14: Start screen of augmented reality application's UI

przycisku powoduje utworzenie skonfigurowanego modelu w systemie CAD, powrotne przesłanie go do aplikacji AR i wyświetlenie na scenie na głównym znaczniku.

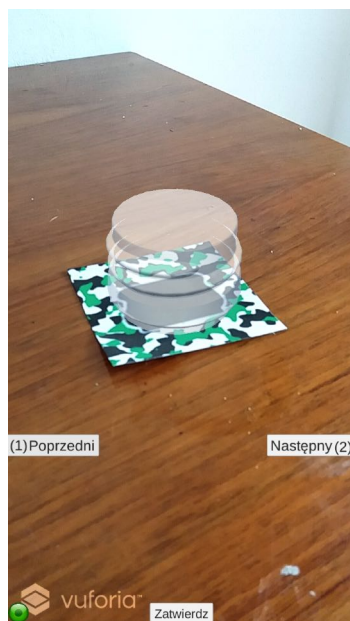
- przycisk powrotu do menu startowego,
- ikona informująca o stanie połączenia z systemem CAx.



Rysunek 4.15: Widok głównego menu pracy aplikacji poszerzonej rzeczywistości

Figure 4.15: Main menu of augmented reality application

Po wybraniu przycisku zmiany modelu przypisanego do znacznika mamy możliwość wyboru, w obrębie której części (którego znacznika) chcemy dokonywać zmiany. Po dokonaniu tego wyboru pojawiają się przyciski, które umożliwiają zmianę przypisanych do wybranego znacznika modeli 3D stanowiących części naczynia. Na przyciskach jest prezentowana również informacja (w postaci wartości liczbowej) ile modeli 3D jest jeszcze możliwych do wybrania. Ekran zmiany modelu widoczny jest na rysunku 4.16.



Rysunek 4.16: Widok menu zmiany modelu 3D przypisanego do znacznika aplikacji poszerzonej rzeczywistości

Figure 4.16: Menu of changing 3D model assigned to a marker of augmented reality application

Po skonfigurowaniu naczynia i wybraniu z menu przycisku „Generuj CAD” przyciski służące do konfiguracji zostają ukryte, a zostaje pokazany przycisk „Parametry”, który umożliwi edycję modelu 3D. Wstępne skonfigurowanie naczynia możliwe jest w trybie off-line (bez udziału systemu CAD), jednak aktualizacja oraz edycja modelu może być wykonana tylko i wyłącznie w trybie on-line - z udziałem systemu CAD. Od tego etapu jest również możliwy zapis modelu w pamięci urządzenia.

Po wybraniu przycisku „Parametry” zaprezentowane zostaje menu, w którym możliwe jest wpisanie wymiarów i przebudowanie według nich modelu 3D naczynia. Po wpisaniu i zatwierdzeniu model jest aktualizowany na scenie. Menu wpisywania parametrów zostało pokazane na rysunku 4.17.

W dowolnym momencie projektowania użytkownik może - używając gestu przeciągnięcia palcem po ekranie - wywołać menu, na którym są prezentowane dane geometryczne oraz masa i aktualna pojemność naczynia. Menu informacyjne dynamicznie wywoływane gestem dotykowym zostało pokazane na rysunku 4.18.

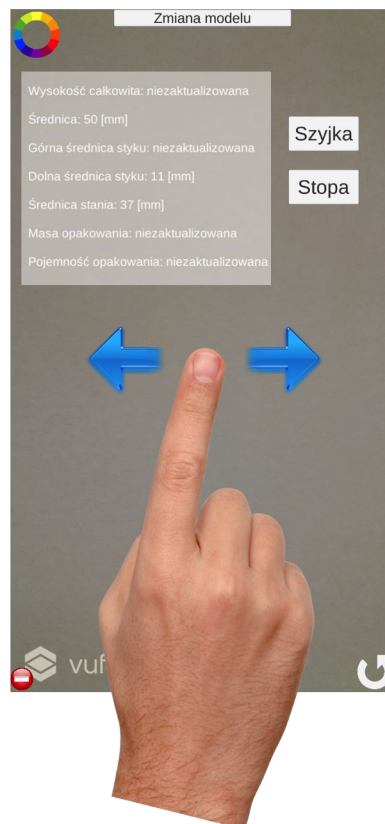
Na rysunkach 4.19 oraz 4.20 widoczne są: menu zapisu modelu 3D oraz okno eksploratora plików służące do wczytywania zapisanych modeli 3D.

Środowisko Unity3D nie posiada wbudowanego narzędzia do tworzenia eksploratora plików (w odróżnieniu do np. środowiska Visual Studio), w związku z



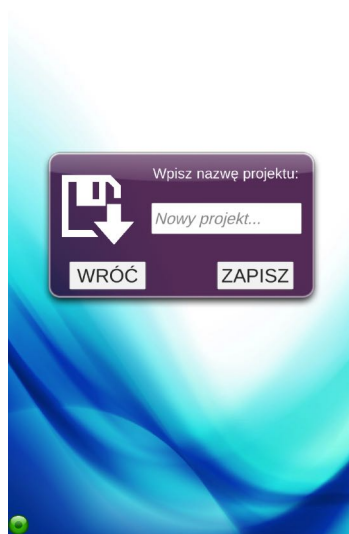
Rysunek 4.17: Widok menu wpisywania parametrów modelu 3D aplikacji poszerzonej rzeczywistości

Figure 4.17: 3D model parameters input menu of augmented reality applications



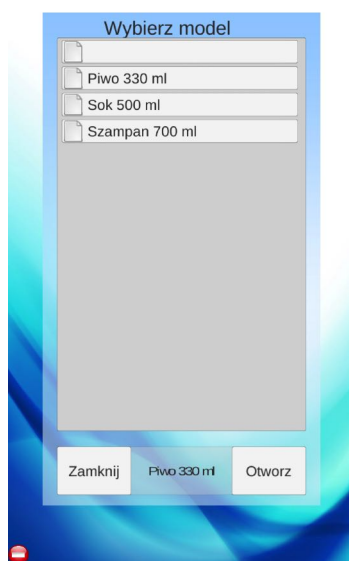
Rysunek 4.18 Menu informacyjne dynamicznie wywoływane gestem dotykowym

Figure 4.18 Information menu dynamically called with a touch gesture



Rysunek 4.19: Widok na okno zapisu modelu 3D aplikacji poszerzonej rzeczywistości

Figure 4.19: Window of saving 3D model of augmented reality application



Rysunek 4.20: Widok na okno eksploratora plików służącego do wczytywania zapisanych modeli 3D aplikacji poszerzonej rzeczywistości (w polu pomiędzy przyciskami „Zamknij” i „Otwórz” wyświetlana jest nazwa wybranego modelu)

Figure 4.20: File explorer window used for loading saved 3D models of augmented reality application (chosen model name is displayed in the field between "Zamknij" and "Otwórz" buttons)

czym w celu utworzenia tego menu konieczne było użycie własnych metod programistycznych (między innymi dynamicznego tworzenia listy obiektów wczytanych z wybranej lokalizacji).

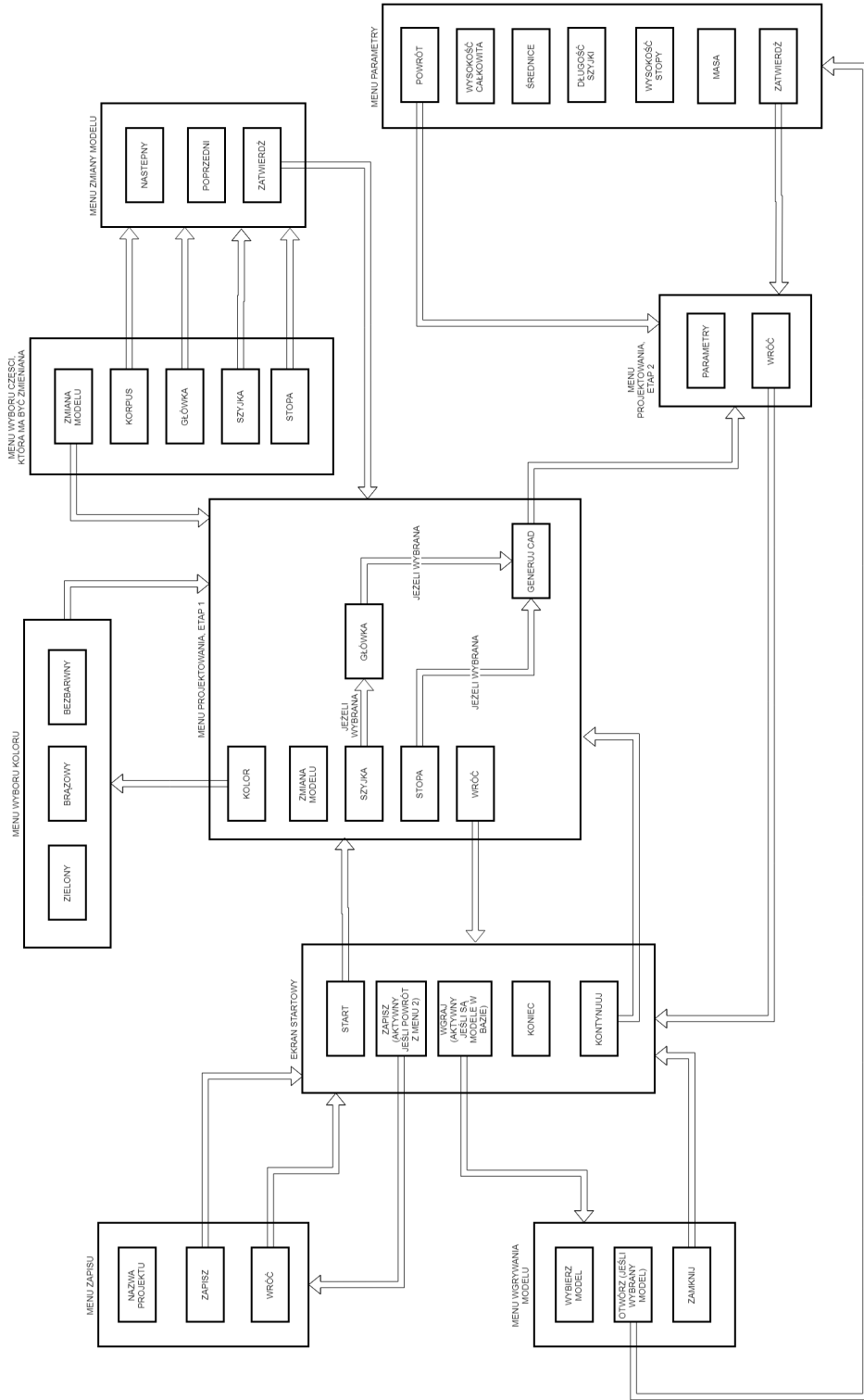
Widoczność poszczególnych obiektów typu płótno, jak również przycisków oraz innych elementów informacyjnych jest ustalana za pomocą zmiennych logicznych typu *bool* (potocznie nazywanych w programowaniu przełącznikami) i jest zależna od kontekstu pracy w systemie oraz od etapu, na którym znajduje się proces projektowania.

Kompletny schemat logiki interfejsu użytkownika systemu AR został pokazany na rysunku 4.21.

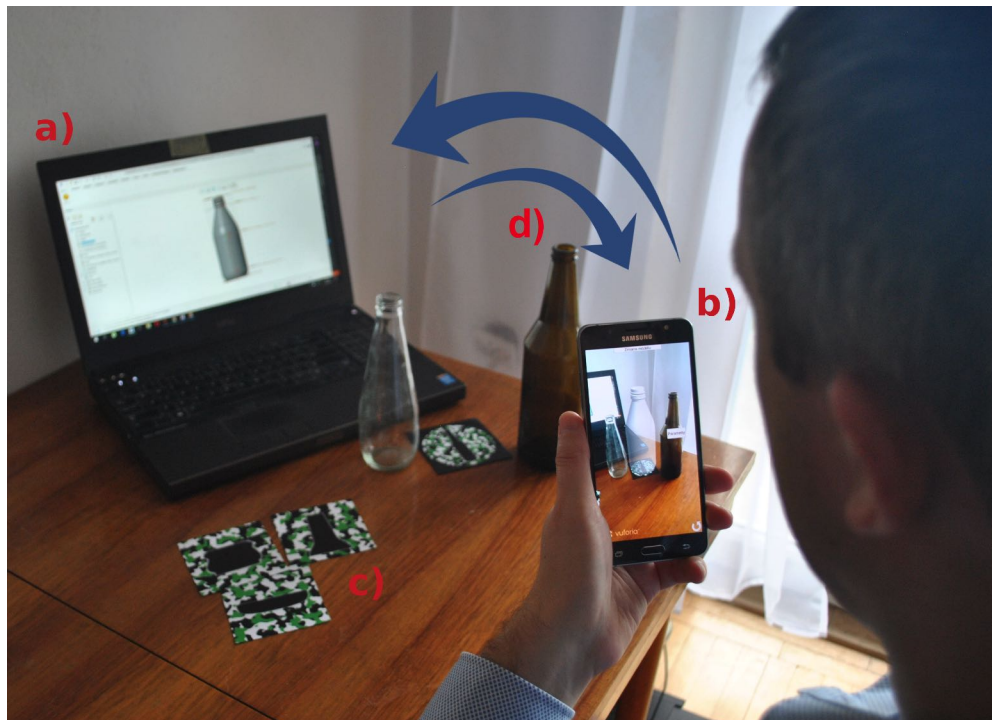
4.7. Podsumowanie

W rozdziale opisana została architektura systemu wspomagania projektowania naczyń szklanych ze szczególnym zwróceniem uwagi na zastosowane interfejsy programistyczne użyte do uzyskania określonych funkcjonalności po stronie systemu CAD oraz Unity3D, jak również na algorytmy działania systemu i operacje, które może on realizować. Przedstawione zostały również sposoby opracowania modeli parametrycznych oraz znaczników, które zostały zastosowane w systemie. Finalnie opisany został interfejs graficzny użytkownika aplikacji AR oraz przeanalizowane zostały jego funkcje i możliwości.

Idea działania systemu przedstawiona została na rysunku 4.22.



Rysunek 4.21 Schemat logiki interfejsu użytkownika aplikacji mobilnej poszerzonej rzeczywistości
 Figure 4.21 Scheme of UI logic of mobile augmented reality application



Rysunek 4.22: Idea działania systemu i jego wybrane komponenty składowe: a) stacja robocza z systemem CAD, b) urządzenie mobilne z systemem AR, c) znaczniki AR, d) wirtualny model naczynia pośród dwóch rzeczywistych naczyń.

Figure 4.22: Idea of system operation and its selected components: a) workstation with CAD system, b) mobile device with AR system, c) AR markers, d) virtual 3D model of the container between two physical containers.

Rozdział 5

Implementacja metody i jej zastosowania

W rozdziale tym przedstawiono możliwości opracowanego systemu do wspomaganie użytkowników w procesie projektowania naczyń szklanych według proponowanej metody (opisanej w rozdziale 3.). Przeanalizowane zostały obszary zastosowań opracowanej przez autora metody, opisane zostały możliwe do zrealizowania działania, jak również przedstawione zostały wybrane scenariusze postępowania.

Szczególną uwagę zwrócono na cechy systemu decydujące o jego przydatności do wspomaganie wspomnianego procesu.

5.1. Obszary zastosowania metody

Opracowana metoda powinna umożliwiać wspomaganie użytkowników w realizacji zadań w ramach następujących etapów procesu opracowania środka technicznego:

1. koncygowania, w zakresie m.in.:
 - rozmów wstępnych z klientem w zakresie opracowania i wyboru optymalnych koncepcji,
 - zebrania wymagań dotyczących nowego projektu od klienta,
 - wyboru i porównania wariantów modeli naczyń widocznych w otoczeniu istniejących produktów,
2. projektowania i konfiguracji w środowisku AR, w zakresie m.in.:
 - opracowania projektu oraz przeprowadzenia analiz dotyczących wyglądu i kształtu przy aktywnym udziale klienta,
 - szybkiego opracowania wielu nowych wariantów i prezentacja ich w otoczeniu świata rzeczywistego (np. w otoczeniu innych istniejących naczyń szklanych),
 - szybkiego wprowadzania zmian do nowych lub istniejących modeli 3D naczyń,
 - analizy i oceny opracowywanych modeli 3D w docelowych kontekstach, gdzie będzie występował finalny produkt, np. na półce sklepowej, na stole, na witrynie sklepowej, w skrzynce transportowej, w kartonie itd.,
 - odtworzenia istniejących projektów, do których nie istnieje dokumentacja cyfrowa w postaci modeli 3D,

- skrócenia czasu tworzenia modelu parametrycznego w biurze konstrukcyjnym,
3. potwierdzenia i szybszej akceptacji wymagań oraz finalnego projektu
- po stronie zamawiającego, w tym możliwość prezentacji opracowanego projektu bez konieczności zamawiania fizycznych prototypów,
 - po stronie producenta, w tym możliwość oceny i przeprowadzenia analiz w różnych etapach procesu produkcyjnego z użyciem modelu 3D wyświetlanego w danym kontekście na tle świata rzeczywistego, np. na linii produkcyjnej, na wydziale pakowania itp.

W istniejących obecnie procesach głównym medium, za pomocą którego przekazywana jest informacja o opracowywanym projekcie jest dokumentacja 2D w postaci rysunków technicznych przekazywanych drogą elektroniczną lub w wersji papierowej. Najczęściej na tych rysunkach oprócz rzutów zawierających szczegółowe wymiary prezentowany jest również poglądowy widok modelu 3D naczynia. Na tej podstawie zamawiający zobligowany jest do dokonania wstępnej akceptacji lub odrzucenia projektu.

Coraz częściej razem z dokumentacją 2D przekazywane są modele 3D w postaci niekomercyjnych formatów, np. pdf 3D lub 3DXML. Umożliwia to zamawiającemu wyświetlenie i ocenę modelu 3D z użyciem własnego komputera.

Czasami organizowane są sesje z udziałem konstruktora prowadzącego, zamawiającego oraz innych osób zaangażowanych w rozwój projektu. Zamawiający ma wówczas możliwość udziału w procesie projektowania, przekazywania wytycznych oraz uwag. Nie ma jednak bezpośredniego wpływu na proces projektowania.

Dzięki opracowanemu systemowi zamawiający może w sposób aktywny uczestniczyć w procesie projektowania naczynia, a następnie w niemalże dowolny sposób, w dowolnej lokalizacji i w dowolnym gronie osób może dokonać oceny, jak również najróżniejszych porównań oraz wybranych analiz opracowanego modelu 3D naczynia.

Inne obszary zastosowania opracowanej przez autora metody zostały przedstawione i omówione w rozdziale 8.

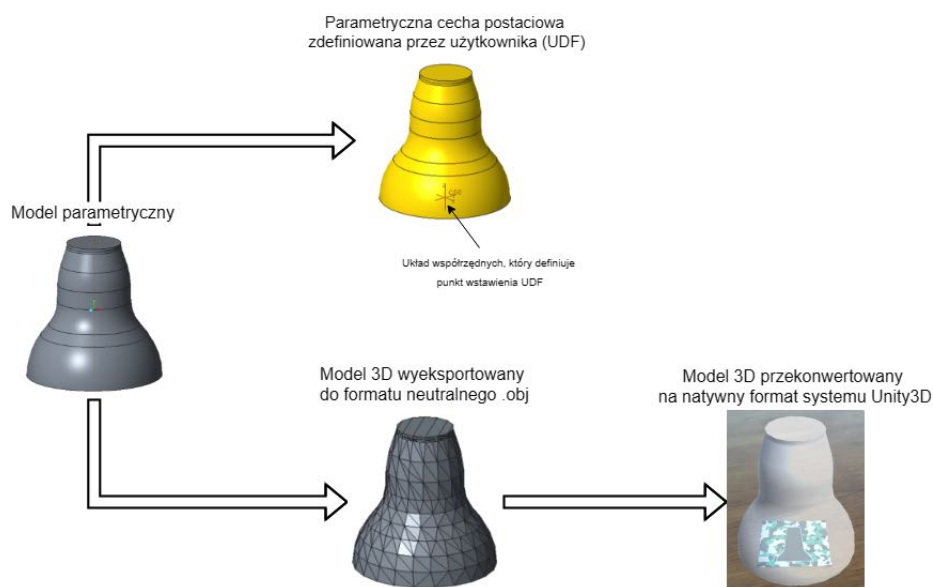
5.2. Prototypowy system konfiguracji naczyń szklanych z zastosowaniem technik poszerzonej rzeczywistości

Opracowany system znajduje zastosowanie w obszarze wspomagania użytkowników w procesach związanych z projektowaniem naczyń szklanych. Działania, które mogą być realizowane za pomocą opracowanego przez autora systemu związane są z jego architekturą, jak również z pomysłowością użytkowników, którzy będą z niego korzystali. Logika działania systemu wprowadza pewne ograniczenia wynikające ze sposobu przebiegu procesów oraz sposobu komunikacji pomiędzy jego modułami. Innymi słowy sposób uzyskania konkretnego modelu 3D naczynia (zarówno w środowisku AR jak i parametrycznego) został jednoznacznie określony przez algorytm systemu i wymaga postępowania według pewnych reguł, podczas gdy użycie modelu 3D oraz kontekst w którym odbywa się proces tworzenia tego modelu zależy w głównej mierze od inwencji jego użytkownika.

5.2.1 Przygotowanie systemu do pracy

Przed rozpoczęciem jakichkolwiek działań w systemie AR przez użytkowników, powinien on zostać właściwie przygotowany (przez osobę odpowiedzialną za przekazanie systemu użytkownikowi docelowemu). Przygotowanie systemu obejmuje:

- utworzenie kompletu znaczników poszerzonej rzeczywistości,
- utworzenie modeli parametrycznych części naczyń, a następnie na ich podstawie parametrycznych cech postaciowych naczyń zdefiniowanych przez użytkownika,
- utworzenie modeli 3D części naczyń w formacie neutralnym do użycia w aplikacji AR.
- zapis (kompilację) aplikacji mobilnej do postaci umożliwiającej jej instalację na urządzeniu mobilnym (np. smartfonie lub tablecie),
- instalację aplikacji mobilnej na urządzeniu mobilnym.



Rysunek 5.1: Etapy przygotowania modeli 3D, które są używane do procesu konfiguracji w systemie AR

Figure 5.1: Stages of preparation 3D models, that are used in configuration process in AR system

Autor opracował zestaw znaczników poszerzonej rzeczywistości. Zestaw ten zawiera 4 znaczniki - po jednym dla każdej części naczynia (tzn. główki, szyjki, korpusu i stopy - rozdz. 4.5). Z punktu widzenia działań w systemie głównym znacznikiem jest ten, do którego przypisany jest model 3D korpusu. Pozostałe znaczniki służą do podglądu i wyboru części, które będą dokładane do korpusu.

Po opracowaniu znaczników autor utworzył w systemie CAD modele parametryczne części naczyń, które posłużyły do utworzenia parametrycznych cech postaciowych użytkownika jak również do utworzenia modeli 3D w formacie neutralnym OBJ.

Proces przygotowania modeli został pokazany na rys. 5.1. W celu zapewnienia zgodności pomiędzy systemem CAD, a aplikacją mobilną nazwy parametrycznych

cech postaciowych użytkownika powinny być takie same jak nazwy modeli w formacie neutralnym.

Po zapisaniu modeli (zarówno parametrycznych jak i tych w formacie neutralnym) we właściwych lokalizacjach (dla systemu Creo będzie to określona lokalizacja na stacji roboczej, a dla systemu AR lokalizacja w pamięci urządzenia mobilnego) system jest gotowy do użycia. Po uruchomieniu aplikacji mobilnej modele zostaną automatycznie rozpoznane i przypisane do znaczników poszerzonej rzeczywistości.

Przygotowanie danych może odbywać się na podstawie rysunków standardowych lub dowolnych innych danych pozyskanych przez konstruktora (ogólnie dostępne rysunki, istniejące projekty) lub też dostarczone przez zamawiającego (szkice, projekty koncepcyjne itd.).

Kompilację aplikacji mobilnej przeprowadza się w środowisku Unity3D. W przypadku wybrania jako docelowej platformy systemu Android wynikiem tego procesu jest plik instalacyjny z rozszerzeniem APK, który następnie należy skopiować do pamięci wewnętrznej urządzenia mobilnego i zainstalować.

Wszystkie czynności związane z przygotowaniem systemu AR do pracy powinny zostać wykonane przez przeszkolonego inżyniera, którego rolę w opisywanym procesie pełnił autor.

5.2.2 Ogólny opis działań realizowanych za pomocą systemu

Działania realizowane w systemie AR można podzielić na dwa etapy, które odbywają się zarówno w aplikacji mobilnej, jak również w systemie CAD:

1. Konfigurację modelu 3D ze wstępnie przygotowanych części naczynia,
2. Edycję modelu 3D skonfigurowanego w pierwszym kroku.

W punkcie pierwszym użytkownik przegląda w dowolnej kolejności dostępne modele 3D części naczynia używając do tego celu wszystkich znaczników. Wszystkie dostępne modele 3D danej części (np. główki) mogą być przeglądane w obrębie jednej klasy znacznika - znaczniki z wizerunkiem danej części służą do przeglądania modeli tych części. Dla przykładu: do znacznika klasy „główka” może być przypisanych wiele typów główek i mogą być one przeglądane w środowisku poszerzonej rzeczywistości (przeglądanie odbywa się z poziomu interfejsu aplikacji mobilnej, patrz rys. 4.16). Po podjęciu decyzji o zastosowaniu danego rodzaju główki należy zatwierdzić wybór i można wstawić wybrany model 3D do skonfigurowanego naczynia, które wyświetlane jest na znaczniku głównym z wizerunkiem całej butelki. Analogicznie należy postępować w przypadku pozostałych modeli 3D części naczynia.

W trakcie trwania tego etapu istnieje możliwość zmiany koloru modelu naczynia.

Do momentu akceptacji kształtu można dowolnie wymieniać modele 3D poszczególnych części. Innymi słowy można dowolną ilość razy dodawać i odejmować modele poszczególnych części (główki, szyjki, stopy) do korpusu, jak również zmieniać model 3D korpusu i w ten sposób testować warianty konfiguracji.

Po skonfigurowaniu całego naczynia należy wybrać przycisk „GENERUJ CAD” (ten przycisk jest pokazywany w interfejsie w momencie, gdy model naczynia jest skonfigurowany).

Po wybraniu przycisku „GENERUJ CAD” rozpoczyna się etap drugi, a więc edycja parametrów skonfigurowanego modelu 3D. Etap ten polega na zmianie parametrów naczynia, takich jak:

- wysokość całkowita,
- średnice korpusu (dolna i górna), które określają powierzchnie styku naczynia,
- długość szyjki,
- wysokość stopy,
- masa całkowita.

Edycja parametrów odbywa się w sposób iteracyjny, a więc na ekranie urządzenia mobilnego, na tle świata rzeczywistego widoczny jest model 3D. W celu zmiany parametrów należy wywołać menu, w którym należy wpisać nowe wartości jednego lub wielu parametrów, zatwierdzić je, po czym model na scenie zostanie zaktualizowany według nowych wartości. Proces ten może być powtarzany wiele razy, do momentu uzyskania pożądanego rezultatu.

Pomiędzy poszczególnymi iteracjami model może być używany do dowolnego celu, np. do porównywania z fizycznymi naczyniami, oglądany w różnych kontekstach itd.

W dowolnym momencie procesu konfiguracji (zarówno w trakcie trwania etapu pierwszego, jak i drugiego) mogą być podglądane pozostałe atrybuty modelu 3D - są one dostępne w menu przywoływanym gestem dotykowym (rys. 4.18). Dostępne są w nim następujące parametry:

- wysokość całkowita,
- średnice korpusu (dolna i górna), które określają powierzchnie styku naczynia,
- długość szyjki,
- wysokość stopy,
- masa całkowita,
- aktualna pojemność naczynia.

W dowolnym momencie etapu drugiego użytkownik ma możliwość zapisania opracowanego modelu 3D naczynia.

Praca w systemie AR może również zostać rozpoczęta od wczytania wcześniej zapisanego modelu 3D naczynia. W tym przypadku proces rozpoczyna się od etapu drugiego, a więc możliwa jest zmiana wartości parametrów wczytanego modelu.

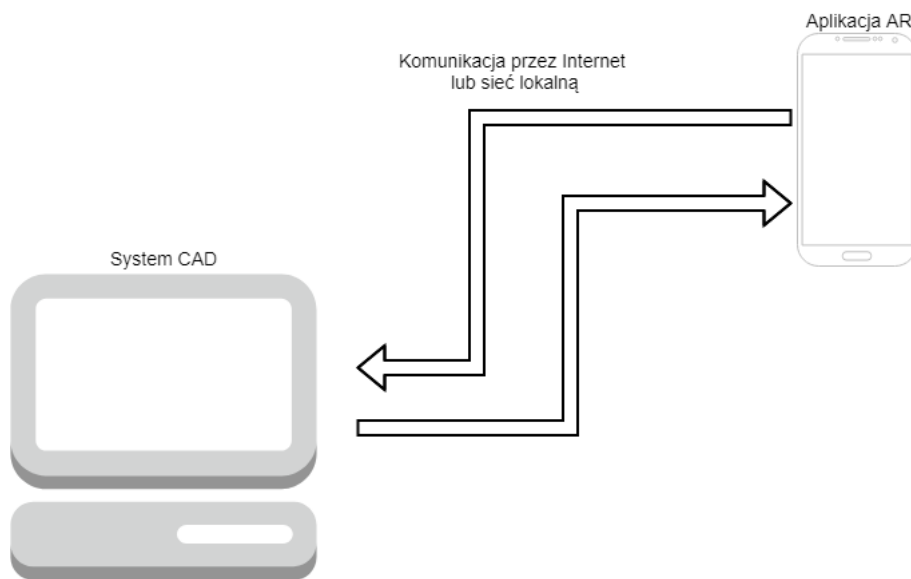
5.2.3 Komunikacja pomiędzy komponentami systemu

Komunikacja pomiędzy komponentami systemu AR, którymi są: aplikacja mobilna oraz system CAx (wraz z aplikacją pośredniczącą) odbywa się wiele razy w trakcie procesu konfiguracji modelu naczynia. Czynniki warunkujące możliwość zachodzenia procesu komunikacji są:

1. istnienie połączenia internetowego pomiędzy stacją roboczą, na której ma docelowo działać system CAD oraz aplikacją pośredniczącą, a urządzeniem mobilnym,
2. nieprzerwane działanie aplikacji pośredniczącej na stacji roboczej - aplikacja ta pełni funkcję serwera, z którym nawiązywane jest połączenie z aplikacji mobilnej.

Proces komunikacji pomiędzy systemem CAD, a aplikacją AR został schematycznie pokazany na rysunku 5.2.

Techniczne aspekty komunikacji zostały szczegółowo opisane w rozdziale 4.



Rysunek 5.2 Proces komunikacji pomiędzy systemem CAx, a aplikacją AR
Figure 5.2 Communication process between CAx system and AR application

Z punktu widzenia działań użytkownika najistotniejszymi momentami komunikacji są:

1. Rozpoczęcie pracy w systemie AR,
2. Przejścia pomiędzy etapami procesu konfiguracji modelu 3D naczynia (zaznaczonymi na rys. 4.21),
3. Przejścia pomiędzy iteracjami modelu 3D podczas zmiany wartości parametrów,
4. Zapis opracowanego modelu 3D naczynia,
5. Zakończenie pracy w systemie AR.

W momencie rozpoczęcia pracy w aplikacji mobilnej następuje komunikacja z systemem CAx i jego uruchomienie na stacji roboczej.

W trakcie procesu przejścia z etapu pierwszego do drugiego konfiguracji modelu 3D naczynia następuje komunikacja pomiędzy aplikacją AR i systemem CAx (patrz rys. 4.21) w zakresie:

1. Przesłania pliku z aplikacji mobilnej do systemu CAx zawierającego strukturę modelu 3D naczynia, który został skonfigurowany na scenie AR oraz wstępnie zdefiniowane parametry (zarówno struktura modelu 3D jak i parametry są przed wysłaniem zapisywane w postaci pliku tekstowego w formacie xml),
2. Przesłania powrotnego z systemu CAx do aplikacji mobilnej wygenerowanego modelu 3D naczynia (w formacie neutralnym OBJ) oraz jego parametrów (zapisanych w postaci pliku tekstowego w formacie xml).

W trakcie przejść pomiędzy kolejnymi iteracjami modelu 3D podczas edycji parametrów komunikacja odbywa się w zakresie zbliżonym do tej, która zachodzi podczas przejścia pomiędzy etapem pierwszym i drugim procesu konfiguracji. Zachodzą następujące procesy:

1. Przesłania pliku z aplikacji mobilnej do systemu CAx zawierającego zdefiniowane parametry naczynia (przed wysłaniem zapisane w postaci pliku tekstowego w formacie xml),
2. Przesłania powrotnego z systemu CAx do aplikacji mobilnej wygenerowanego modelu 3D naczynia (w formacie neutralnym OBJ) oraz jego parametrów (zapisanych w postaci pliku tekstowego w formacie xml).

W trakcie czynności zapisu modele 3D - zarówno ten, który jest wyświetlany na scenie AR w aplikacji mobilnej, jak i model parametryczny wygenerowany w systemie CAx - zostają zapisane w odpowiadających im lokalizacjach z tą samą nazwą (model AR zostaje zapisany w pamięci urządzenia mobilnego, podczas gdy model parametryczny w określonej lokalizacji na stacji roboczej).

Zakończenie pracy w systemie AR zachodzi w momencie wybrania przycisku KONIEC w aplikacji mobilnej. W tym samym momencie wyłączony zostaje system CAx.

5.3. Wybrane scenariusze działań

W rozdziale tym przedstawione zostały 3 przykładowe scenariusze działań, które mogą być realizowane z użyciem opracowanego systemu AR jako implementacja zastosowanej metody. Przedstawienie realnych scenariuszy umożliwi wstępną analizę tych cech systemu AR, które mają decydujące znaczenie dla przydatności systemu w warunkach realnego użycia.

Każdy ze scenariuszy będzie realizowany na innym etapie opracowania środka technicznego:

1. Scenariusz I - projektowanie koncepcyjne na bazie wstępnego szkicu lub projektu wstępnego przygotowanego przez agencję projektową,
2. Scenariusz II - utworzenie nowej wersji istniejącego modelu 3D naczynia szklanego,
3. Scenariusz III - utworzenie modelu 3D na bazie istniejącego naczynia.

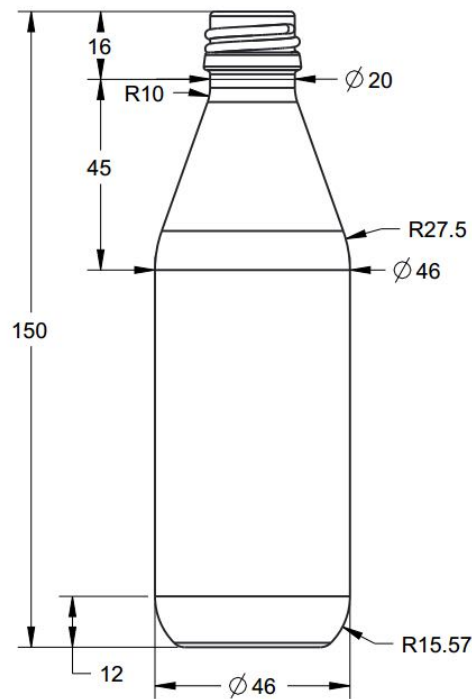
Założenia do wszystkich scenariuszy:

1. działania mogą być realizowane w dowolnej lokacji, gdzie jest dostęp do połączenia internetowego,
2. w proces zaangażowani są przedstawiciele zamawiającego oraz przedstawiciel producenta naczyń,
3. przedstawiciel zamawiającego nie posiada wiedzy technicznej na temat projektowania naczyń szklanych,
4. przedstawiciel producenta naczyń posiada ogólną wiedzę na temat projektowania naczyń szklanych,
5. przedstawiciel zamawiającego bierze aktywny udział w procesie konfiguracji - obsługuje system.

Opis scenariusza I:



Rysunek 5.3 Wizualizacja butelki przesłanej przez agencję projektową
Figure 5.3 Bottle visualization sent by design agency



Rysunek 5.4 Rysunek wstępny butelki przesłanej przez agencję projektową
Figure 5.4 Preliminary drawing of bottle sent by design agency

- konfiguracja naczynia odbywa się na bazie dostarczonego przez zamawiającego szkicu lub projektu wstępnego przygotowanego np. przez agencję projektową (rys. 5.3 oraz 5.4),
- w systemie zdefiniowane są części na bazie których odbywa się konfiguracja modelu 3D naczynia,
- w trakcie procesu konfiguracji wygenerowane może zostać wiele wariantów modelu 3D naczynia,
- wygenerowane modele mogą być umieszczane w różnych kontekstach, np. na półce sklepowej, na stole, na atrapie witryny sklepowej itd.

Opis scenariusza II:

- wstępnie opracowane i zapisane w pamięci są modele 3D istniejącego naczynia, które zostały uprzednio przygotowane przez konstruktora na spotkanie z zamawiającym,
- model wirtualny prezentowany jest obok podlegającego modyfikacji modelu rzeczywistego i do niego porównywany w trakcie procesu projektowania,
- celem procesu jest taka zmiana poszczególnych wymiarów modelu (wysokości, średnicy korpusu, wysokości szyjki lub stopy), żeby spełnić wymagania zamawiającego.

Opis scenariusza III:

- konfiguracja naczynia odbywa się na bazie dostarczonego przez zamawiającego fizycznego modelu naczynia (pokazano na rys. 5.5),
- zamawiający nie posiada rysunków technicznych istniejącego naczynia,
- w systemie AR zdefiniowane są części na bazie których odbywa się konfiguracja modelu 3D naczynia,
- po wstępnym skonfigurowaniu modelu 3D naczynia wprowadzane są zmierzone lub przybliżone wymiary naczynia,
- proces konfiguracji odbywa się w otoczeniu istniejącego naczynia.

Model 3D naczynia utworzonego w oparciu o ten scenariusz w podziale na kolejne etapy został pokazany na rysunkach 6.8 oraz 6.9 w rozdziale 6.2.3.



Rysunek 5.5: Widok na istniejącą butelkę, której model wirtualny został skonfigurowany w trakcie realizacji scenariusza

Figure 5.5: Existing bottle, which virtual model has been configured during the scenario

5.4. Podsumowanie

W rozdziale przedstawiono sposób implementacji autorskiej metody oraz możliwe zastosowania opracowanego systemu wspomagającego użytkowników w procesie projektowania naczyń szklanych. Przedstawione zostały również wybrane możliwe do zrealizowania scenariusze, dzięki czemu system ukazany został w swoim docelowym kontekście.

Opisane scenariusze posłużyły jako podstawa do przeprowadzenia badań walidacyjnych, które przedstawione zostały w rozdziale 6.

Rozdział 6

Badania zaproponowanej metody i opracowanego systemu

Rozdział ten zawiera opis działań zrealizowanych w celu:

1. weryfikacji poprawności działania opracowanego systemu, w tym jego interfejsu, który powinien umożliwiać aktywny udział użytkownika zamawiającego nowy wzór naczynia w procesie jego modelowania,
2. walidacji metody wspomaganego projektowania naczyń szklanych (opisanej w rozdziale 3.) z zastosowaniem konfiguracji w środowisku poszerzonej rzeczywistości, w tym jej przydatności w kontekście zwiększenia efektywności modelowania.

Podstawą do opracowania metody badań opracowanego przez autora systemu AR były wyniki badań DeLone i McLean z 1992 roku oraz Seddon i Kiew z roku 1996. Dowiedli oni, że aby właściwie określić wartość dowolnego systemu informatycznego należy uwzględnić oraz zmierzyć sześć kluczowych i powiązanych ze sobą czynników (Armstrong, 2005):

- jakość systemu,
- jakość materiałów informacyjnych związanych z systemem,
- postrzeganą przez użytkownika użyteczność systemu,
- satysfakcję użytkownika systemu,
- znaczenie systemu dla użytkownika.

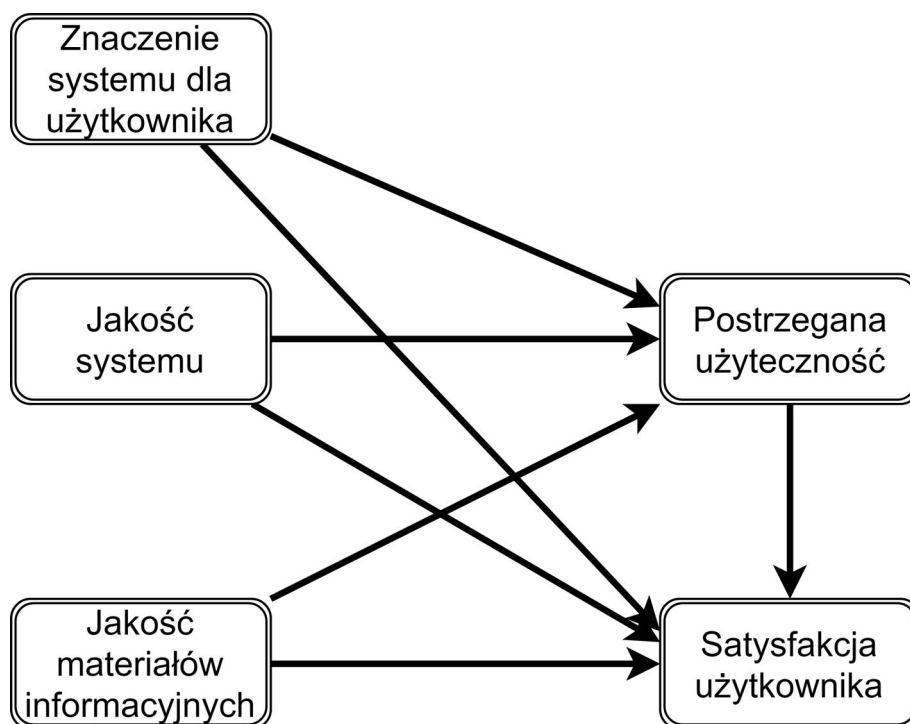
Interakcje pomiędzy czynnikami pokazane zostały na rysunku 6.1.

Badania zostały podzielone na dwie części:

1. testy weryfikacyjne systemu AR,
2. ocena przydatności metody konfiguracji naczyń szklanych.

W pierwszej części badań sprawdzona została jakość opracowanego systemu, podczas gdy w drugiej części badań sprawdzona została przydatność opracowanej metody.

Ocena przydatności sprawdzona została w oparciu o metodę pomiaru oczekiwań przed badaniem, a następnie porównaniu ich z faktycznym doświadczeniem



Rysunek 6.1: Powiązania pomiędzy sześcioma kluczowymi czynnikami mającymi wpływ na jakość systemu informatycznego według modelu Seddon i Kiew (opracowanie własne na podstawie (Seddon and Kiew, 1996))

Figure 6.1: Seddon and Kiew's model showing interactions among key six factors that are crucial to IT system success(own elaboration based on (Seddon and Kiew, 1996))

po ukończeniu testów. Ocenie podlegał również stopień znaczenia systemu dla użytkownika.

Plan badań z uwzględnieniem kluczowych czynników mających wpływ na jego jakość wraz z podziałem na testy weryfikacyjne i ocenę przydatności został graficznie przedstawiony na rysunku 6.2.

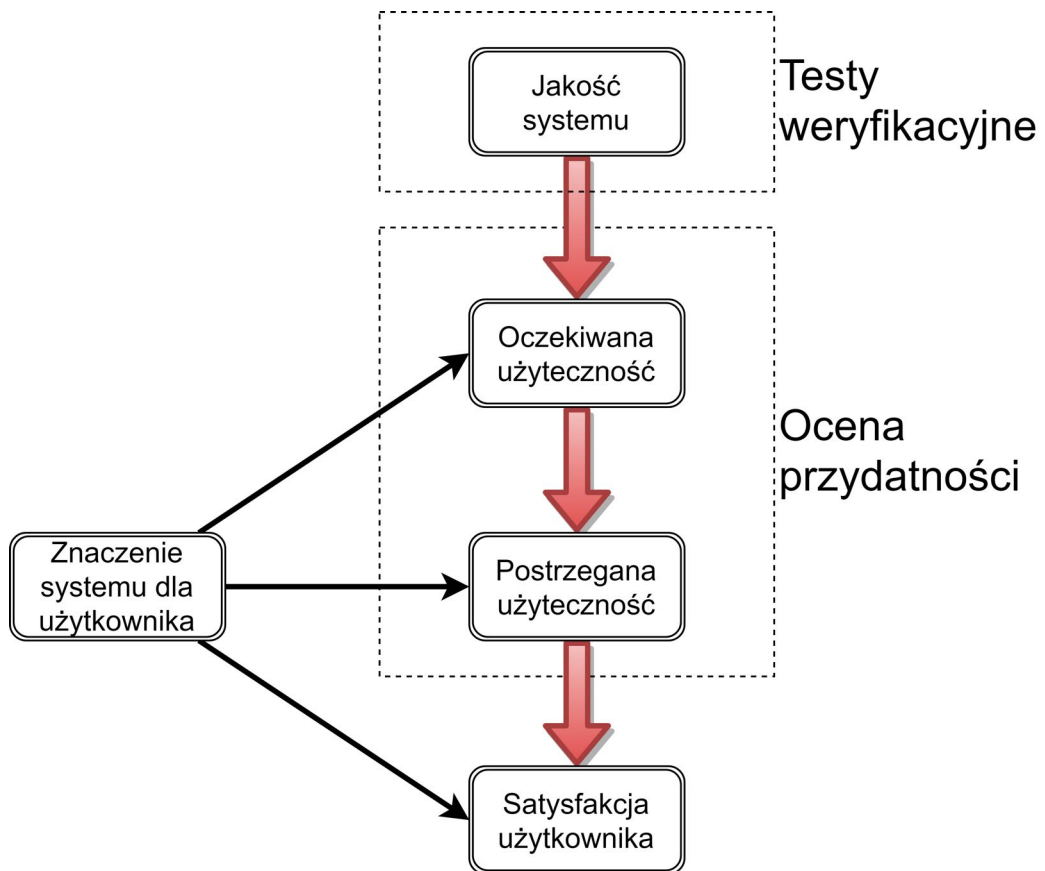
6.1. Weryfikacja systemu wspomaganego projektowania naczyń szklanych

Celem badań weryfikacyjnych w odniesieniu do proponowanego systemu była ocena prawidłowości współdziałania poszczególnych elementów tego systemu oraz jego interfejsu użytkownika w praktycznym zastosowaniu symulującym realny przypadek.

Weryfikacji dokonano poprzez zastosowanie systemu do utworzenia modelu wybranego naczynia szklanego.

6.1.1 Uczestnicy

W badaniach wzięło udział 16 osób, wśród który znajdowało się:



Rysunek 6.2: Plan badań opracowanego systemu AR z uwzględnieniem kluczowych czynników mających wpływ na jego jakość oraz z podziałem na testy weryfikacyjne i ocenę przydatności

Figure 6.2: Research plan of the developed AR system, including key factors affecting its quality and broken down into verification tests and suitability assessment

1. 9 osób, które zawodowo zajmują się konstruowaniem lub opracowywaniem dokumentacji technicznej i technologicznej,
2. 7 osób, które nie zajmują się konstruowaniem ani projektowaniem.

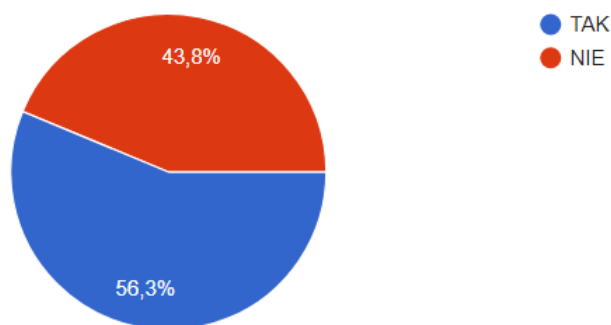
Wśród uczestników, którzy na co dzień pracują jako specjaliści z dziedziny konstrukcji i technologii znajdowali się inżynierowie, którzy są pracownikami przedsiębiorstw produkcyjnych i posiadają umiejętność posługiwania się zaawansowanymi narzędziami CAx (np. CATIA V5/V6, Creo Parametric, SolidWorks).

W grupie pozostałych siedmiu osób, niebędących specjalistami z dziedziny projektowania i konstrukcji znajdowali się przedstawiciele różnych grup zawodowych - specjaliści z dziedziny rozwoju produktu, managerowie wyższego szczebla oraz dyrektorzy przedsiębiorstw produkcyjnych, archeolog, programista oraz akustycy. Nie posiadali oni znajomości zaawansowanych narzędzi programowych charakterystycznych dla systemów klasy CAx jak również zaawansowanych narzędzi opartych na technikach poszerzonej rzeczywistości.

W sposób graficzny podział uczestników badań został pokazany na rys. 6.3.

Biegłe posługują się jednym lub więcej zaawansowanym systemem CAD

16 odpowiedzi



Rysunek 6.3: Graficzne przedstawienie podziału uczestników badań na osoby, które biegłe posługują się jednym lub więcej systemem CAx oraz pozostałych specjalistów

Figure 6.3: Graphical representation of the participants in the study who are proficient in one or more CAx and other professionals

6.1.2 Plan oraz przebieg badań weryfikacyjnych

Weryfikacja metody wspomagania projektowania naczyń szklanych została przeprowadzona w oparciu o scenariusz nr 1 tworzenia modelu 3D opisany w rozdziale 5.3.

Scenariusz ten posłużył do utworzenia modelu 3D wybranego naczynia szklanego z użyciem systemu AR działającego na urządzeniu mobilnym. Bazą do wykonania tego modelu był wcześniej przygotowany szkic.

Weryfikacja systemu została przeprowadzona zgodnie z następującym planem:

1. Rozmowa z uczestnikiem, podczas której omawiany był cel badania oraz podstawowe funkcjonalności systemu; Podczas rozmowy autor wyjaśniał również w sposób ogólny logikę działania systemu oraz fakt równoczesnego powstawania modelu parametrycznego.
Autor nie szkolił uczestników z zakresu obsługi systemu - użytkownik realizował swoje działania zgodnie z opracowaną specjalnie do tego celu instrukcją w wersji elektronicznej i w trakcie tych działań poznawał poszczególne funkcjonalności systemu;
2. Utworzenie przez użytkownika modelu zgodnie ze scenariuszem oraz zapisanie go w pamięci urządzenia mobilnego (a w tle również w pamięci stacji roboczej, na której działa system CAx).
3. Ocena systemu AR przez użytkownika.

Badanie przebiegało według kroków opisanych w instrukcji badań weryfikacyjnych¹. Uczestnicy realizowali poszczególne kroki, testując poszczególne funkcjonalności systemu oraz ich techniczne aspekty, takie jak:

¹Tekst instrukcji jest dokumentem nieformalnym i nie stanowi głównej treści niniejszego opracowania.

- funkcjonalność oraz przejrzystość menu,
- sposób rozplanowania elementów interfejsu użytkownika,
- opis elementów interfejsu użytkownika,
- łatwość obsługi interfejsu użytkownika oraz jego intuicyjność,
- szybkość oraz stabilność działania systemu.

Efektem końcowym badania było utworzenie modelu 3D naczynia szklanego. W trakcie działań z tym związanych uczestnicy badania sprawdzili:

- czy system umożliwia realizację tego zadania,
- czy realizacja poszczególnych kroków zmierzających do osiągnięcia tego celu była łatwa,
- czy system umożliwił edycję parametrów modelu 3D naczynia oraz czy menu edycji parametrów było zrozumiałe.

Ocena systemu AR została dokonana na podstawie wypełnianego kwestionariusza w wersji elektronicznej. Ocena pozwoliła uzyskać autorowi odpowiedzi na następujące pytania:

- Czy interfejs użytkownika został poprawnie zaprojektowany i czy jest dla użytkownika zrozumiały?
- Czy system działa poprawnie, a więc czy umożliwia realizację podstawowych działań, do których został zaprojektowany?
- Czy poszczególne elementy współdziałają ze sobą w realizacji działań?
- Czy system działa wystarczająco szybko, a więc czy jest wystarczająco wydajny?
- Czy system umożliwia realizację realnego scenariusza związanego z utworzeniem modelu 3D naczynia szklanego?

Finalnie, wynikiem testów była odpowiedź na pytania:

- Czy w opinii testujących system jest przydatny w tworzeniu modeli 3D naczyń szklanych?
- Czy uczestnicy używaliby aplikacji AR w swojej codziennej pracy?
- Czy zdaniem uczestników taki sposób projektowania naczyń jest bardziej efektywny i ciekawszy niż projektowanie z użyciem zaawansowanego systemu CAx?

6.1.3 Ocena systemu

Po zakończeniu realizacji działań opisanych w scenariuszu (rozdz. 5.3) każdy uczestnik wypełnił kwestionariusz. Ocena systemu miała charakter jakościowy. Kwestionariusz zawierał stwierdzenia do których miał się ustosunkować uczestnik badania (treść stwierdzeń została zawarta w tabeli 6.1). Stwierdzenia do kwestionariuszy zostały tak dobrane i skonstruowane, aby możliwa była na ich podstawie ocena prostoty, zrozumiałości oraz poprawności działania interfejsu użytkownika, jak również poprawność działania algorytmów opracowanego systemu.

Uczestnicy badania ustosunkowali się do stwierdzeń za pomocą opracowanej przez autora siedmiostopniowej interwałowej skali Likerta (Albert and Tullis, 2013). Uczestnicy szkoleń decydowali w jakim stopniu - w skali 1 - 7 - zgadzali się z zaproponowanymi stwierdzeniami dotyczącymi systemu. Skala została pokazana na rysunku 6.4.



Rysunek 6.4: Siedmiostopniowa skala interwałowa zastosowana w kwestionariuszu oceny po badaniach weryfikacyjnych

Figure 6.4: A seven-step scale in the post-verification assessment questionnaire

W kwestionariuszach dodatkowo zawarte zostało pytanie otwarte umożliwiające oceniającym przekazać sugestie dotyczące opracowanego systemu.

W pierwszej części kwestionariusza uczestnicy oceniali interfejs użytkownika: zrozumiałość menu startowego, przejrzystość interfejsu, opis przycisków, łatwość użycia systemu oraz możliwość szybkiej nauki jego obsługi.

Druga część kwestionariusza dotyczyła oceny działania systemu - szybkości jego działania i stabilności. Uczestnicy ocenili również to, czy system sprawiał jakies problemy.

Trzecia część kwestionariusza obejmowała ocenę realizacji scenariusza. Uczestnicy odpowiedzieli na pytanie czy system umożliwił im utworzenie modelu 3D naczynia oraz edycję jego parametrów, jak również dokonali oceny łatwości oraz zrozumiałości tego procesu.

Ostania część kwestionariusza zawierała podsumowanie, w którym uczestnicy badania odpowiedzieli na pytanie czy ich zdaniem system jest przydatny, czy gdyby to była ich branża, to czy używaliby go w swojej codziennej pracy, jak również czy w ich ocenie utworzenie modelu 3D taką metodą z użyciem systemu AR jest ciekawsze od powszechnie stosowanej metody, w której używane jest zaawansowane oprogramowanie klasy CAx.

Wyniki badań zamieszczone zostały w B - w sposób graficzny na rysunkach B.1 - B.16, podczas gdy szczegółowe wyniki w tabelach B.1 - B.5.

Uśrednione wyniki badań pokazane zostały w tabeli 6.1.

Tablica 6.1: Zestawienie wyników badań zawierające: wartość średnią, medianę oraz dominantę wyników badań weryfikacyjnych systemu AR

Table 6.1: Research results containing: average value, median and dominant of the results of verification tests of the AR system

Nazwa	Średnia	Mediana	Dominanta
Weryfikacja interfejsu użytkownika			
Menu startowe systemu było zrozumiałe	6,75	7	7
Interfejs systemu był przejrzysty	6,06	6	6
Opis przycisków był zrozumiały	5,63	5,5	7
System był łatwy w użyciu	6,25	7	7
Szybko można nauczyć się obsługi systemu	6,88	7	7
Weryfikacja działania systemu			
System działał szybko	6,31	7	7
System działał stabilnie	6,31	7	7
System nie sprawiał problemów	6,25	7	7
Realizacja scenariusza			
System umożliwił mi utworzenie modelu 3D naczynia określonego w scenariuszu	100%		
Realizacja wszystkich kroków scenariusza była łatwa	6,31	7	7
Utworzenie modelu 3D naczynia za pomocą systemu było łatwe	6,50	7	7
System umożliwił mi edycję parametrów modelu 3D naczynia	93,75 %		
Menu edycji parametrów modelu 3D naczynia było zrozumiałe	6,31	7	7
Podsumowanie			
Uważam, że system jest przydatny	6,44	7	7
Gdyby to była moja branża to używałabym / używałbym systemu AR w codziennej pracy	5,75	6	6
Uważam, że tworzenie modeli 3D naczyń z użyciem systemu AR jest bardziej efektywne i ciekawsze, niż z użyciem zaawansowanego oprogramowania CAD (do komputerowego wspomaganie projektowania)	5,50	6	6

Na podstawie przeprowadzonych badań weryfikacyjnych systemu AR można stwierdzić, że:

- interfejs aplikacji mobilnej AR jest:
 - zrozumiały,
 - przejrzysty,
 - łatwy w użyciu
 - łatwy do nauczenia,
- system działa:
 - szybko,
 - stabilnie,
 - w sposób niepowodujący problemów,
- utworzenie modelu 3D za pomocą badanego systemu podczas realizacji scenariusza było:
 - możliwe we wszystkich próbach,
 - łatwe,
- edycja parametrów utworzonego modelu 3D była:
 - możliwa,
 - łatwa i zrozumiała.

W opinii testujących system jest przydatny, a większość uczestników badania odpowiedziała, że gdyby to była ich branża, to używaliby takiego systemu w ich codziennej pracy (tylko jeden uczestnik badania uznał, że w jego opinii system jest nieprzydatny).

Większość uczestników odpowiedziała również, że zaproponowany przez autora sposób tworzenia modeli 3D w środowisku AR jest bardziej efektywny i ciekawszy, niż z użyciem tradycyjnego zaawansowanego oprogramowania CAx do komputerowego wspomaganie projektowania (mimo iż w tym przypadku waga odpowiedzi rozłożyła się w sposób bardziej równomierny - w zakresie 4/7 - 7/7; również w tym pytaniu jeden z użytkowników zupełnie nie zgodził się z tym stwierdzeniem).

Najwyższe średnie ocen dotyczyły: możliwości szybkiego nauczenia się obsługi aplikacji AR ($\bar{X} = 6,88$), zrozumiałości menu startowego ($\bar{X} = 6,75$) oraz łatwości z jaką można utworzyć model 3D naczynia za pomocą systemu ($\bar{X} = 6,50$).

Najniższa średnia ocen wyniosła $\bar{X} = 5,50$ i dotyczyła oceny tego, czy tworzenie modeli 3D naczyń jest ciekawsze z użyciem systemu AR, niż z użyciem systemu CAx. Druga najniższa średnia ocen ($\bar{X} = 5,63$) dotyczyła zrozumiałości opisu przycisków interfejsu użytkownika. Trzecia najniższa średnia ocen ($\bar{X} = 5,75$) odnosiła się do stwierdzenia, czy użytkownicy używaliby testowanego systemu AR w ich codziennej pracy.

Oceny miały również swoje odzwierciedlenie w bardzo cennych uwagach, które uczestnicy przekazali w polu przeznaczonym do tego celu na końcu kwestionariusza. W większości dotyczyły one interfejsu użytkownika, np.:

- *Przycisk „zmiana modelu” jest za mały i za mało wyeksponowany (...) Dobrze by było gdyby przyciski zmieniały kolor jak się je naciska, żeby było wiadomo, że się nacisnęło,*
- *Odnosnie opisu przycisków - ich funkcje i położenie na ekranie są zrozumiałe, jednak w niektórych momentach ich kolor pokrywa się z kolorem tła przez co są gorzej widoczne,*
- *Zdecydowanie większa czcionka na ekranie,*
- *Bardziej intuicyjne przyciski lub lepszy ich opis,*
- *Mało czytelne przyciski - wydają się za małe. Dwa przyciski w różnych miejscach i z różnymi funkcjami mają taką samą nazwę co spowodowało błąd z mojej strony w realizacji scenariusza,*
- *Rysunek techniczny mógłby mieć opcje powiększania za pomocą gestów,*
- *Powiększyłbym rozmiar przycisku „Zmiana modelu”,*
- *Przycisk zmiana modelu mógłby być trochę grubszy żeby łatwiej było w niego trafić, kolorystyka menu z parametrami modelu spowodowała że nie zawsze menu to było czytelne,*
- *Przycisk u góry (zmiana modelu) ekranu moim zdaniem za mały,*
- *Powinna znaleźć się informacja, nad którym elementem modelu aktualnie pracujemy. W miejscu gdzie składamy model z poszczególnych części, mogłoby znaleźć się wytłumaczenie do czego te przyciski służą,*
- *Polecenia na ekranie telefonu powinny być czytelniejsze i w bardziej intuicyjnych miejscach, a nie ułożone po bokach, co sprawiało, że były mało widoczne i trzeba było tracić czas na ich odszukiwanie,*
- *Pomyślałabym o rozszerzeniu opisów przycisków żeby obsługa była bardziej intuicyjna, bo pomimo łatwej obsługi aplikacji okno zmiany modelu, w którym wybierane są oddzielne elementy może się mylić z oknem, w którym wyświetlamy cały model. Np. zamiast „zmiana modelu” - „zmiana wyglądu elementów” lub zamiast hasłowo „stopa”, „szyjka” - „wybierz elementy do wyświetlenia” i tam wybieramy co dołączamy do modelu. Przydatne mogłyby być też komunikaty, który znacznik umieścić w polu kamery w danym momencie.*

Niektóre uwagi zawierały opinie uczestników na temat sposobu budowania modeli z użyciem proponowanej metody oraz pewne pomysły na jej usprawnienie:

- *Ciężko jest trochę trzymać znacznik pod właściwym kątem jedną ręką, a w drugiej ręce naciskać na telefon,*
- *Dobrym rozwiązaniem byłoby - o ile to możliwe - podświetlanie małego pola pod ikonką przycisku w kolorze kontrastującym z kolorem tła,*
- *Zastanowiłbym się nad opcją budowania modelu bez potrzeby znaczników. (Np. pojechałem do klienta w sprawie nowego produktu a na miejscu okazało się, że zapomniałem znaczników).*

W uwagach znalazły się również dosyć skrajne opinie - optymistyczne:

- *jest to bardzo dobre narzędzie dla pracowników nie-technicznych lub też technicznych w sytuacjach meetingowych. Zastosowanie w pracach typowo inżynierskich sprawdzi się jako dodatek do pełnego, parametrycznego modelu 3D CAD natomiast nie zastąpi go w pełni w takiej formie w jakiej zostało zaprezentowane. Powodem jest użycie UDF, których algorytmy realizowane są w tle i użytkownik nie ma do nich pełnego wglądu z poziomu aplikacji (chyba, że ma?). Gdyby aplikacja umożliwiała dostęp do struktury UDF i ich edycję w podstawowym zakresie (za pomocą kilku prostych ikon) to bardziej zbliżyłaby użytkownika do pełnego interfejsu 3D CAD i stałaby się bardziej użyteczna dla inżyniera jako mobilna mini-wersja CAD. Natomiast dla pracowników nie-technicznych lub o ograniczonych uprawnieniach w zakresie edycji projektu - jak najbardziej OK!*

jak również bardzo krytyczne - zarówno względem sposobu przeprowadzenia testu, jak i samego systemu:

- *Testy za krótkie do prawidłowej oceny systemu. Przejście scenariusza nie pozwala prawidłowo ocenić działania tego systemu. Niewłaściwa branża dla systemu ze względu na produkcję wielkoseryjną dla odbiorców masowych (business to business).*

Podsumowując, wyniki testów (a dokładnie wysokie oceny - żadna średnia ocen nie była niższa niż 5,5/7) wskazują, że system został dobrze przyjęty przez uczestników badania. Pomimo bardzo dużej innowacyjności zastosowanej metody opartej o techniki poszerzonej rzeczywistości oraz wysokiego stopnia złożoności całego systemu (powiązania systemu CAx z aplikacją mobilną) uczestnicy ocenili, że zarówno obsługa tego systemu, jak i sposób tworzenia modeli 3D naczyń są łatwe i można się ich szybko nauczyć.

Nieco niższe oceny dotyczące przydatności systemu w codziennej pracy oraz jego przewagi względem systemu CAx jest w opinii autora spowodowana dużym udziałem (56,3%) uczestników biegle posługujących się jednym lub więcej systemem CAx (wśród nich znajdowali się praktycy z bardzo długim stażem i ogromnym doświadczeniem), dla których możliwości systemu AR w zakresie tworzenia i edycji modelu 3D w porównaniu z możliwościami systemów, których używają na co dzień, wydają się niewystarczające (a jego zalety względem tych systemów mniej znaczące). Niemniej jednak krytyczne oceny oraz wskazówki tak wysoko wykwalifikowanych specjalistów są bardzo cenne z punktu widzenia technicznych aspektów działania systemu AR oraz obszarów i możliwości jego usprawnienia.

Pozytywnym zaskoczeniem dla autora były bardzo liczne uwagi przekazane przez użytkowników - świadczy to o wysokim zaangażowaniu emocjonalnym uczestników oraz o tym, że opracowany system, mimo iż jeszcze nie w pełni dopracowany, wywołuje u użytkowników sporo emocji.

6.2. Ocena przydatności metody wspomaganie projektowania naczyń szklanych

Celem badań walidacyjnych w odniesieniu do opracowanej metody była ocena jej poprawności i przydatności w kontekście jej zastosowania do usprawnienia procesu projektowania naczynia szklanego.

Ocenie poddany został wpływ metody wizualizacji modeli 3D naczyń w środowisku poszerzonej rzeczywistości na skuteczność realizacji działań związanych z projektowaniem nowego naczynia.

Do oceny metody przyjęto podejście nazwane „pomiarom oczekiwań” (ang. *expectation measure*) zaproponowane przez Albert i Dixon w 2003 roku. Twórcy tej metody założyli, że najważniejsze jest określenie jak trudne lub łatwe dla użytkownika było wykonanie poszczególnych działań w trakcie testu, w porównaniu do tego czego spodziewał się przed badaniem.

W związku z tym uczestnicy przed rozpoczęciem testu oceniają w przygotowanym formularzu jak trudne lub łatwe będą ich zdaniem działania, które będą wykonywali, bazując na ich rozumieniu produktu, który będą testować oraz czynności z nim związanych.

Użytkownicy spodziewają się, że pewne działania będą łatwiejsze, niż inne. Na przykład, nawet nie znając systemu, który będą testować, mogą spodziewać się, że zmiana koloru modelu 3D naczynia będzie łatwiejsza, niż edycja jego parametrów wymiarowych.

Następnie, po ukończeniu wszystkich działań związanych z testami uczestnicy oceniają jak trudne wykonanie działań faktycznie było.

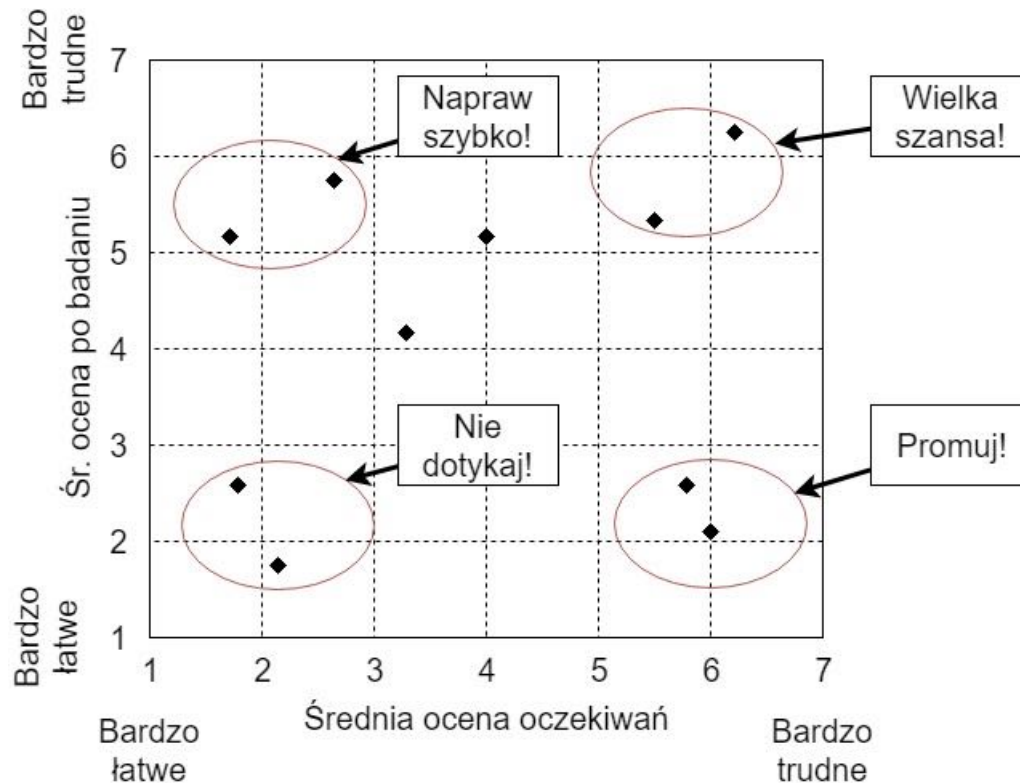
Ocena „przed” jest nazywana „oceną oczekiwań” (ang. *expectation rating*), podczas gdy ocena „po” jest nazywana „oceną doświadczenia” (ang. *experience rating*). Dla każdej czynności należy obliczyć średnią oczekiwań (ang. *average expectation rating*) oraz średnią doświadczenia (ang. *average experience rating*).

Następnie tak obliczone dane należy nanieść na wykres. Na wykresie można wtedy określić obszary, które znajdują się w czterech jego ćwiartkach:

1. „Wielka szansa” (ang. *big opportunity*) - w prawej górnej części wykresu znajdują się działania, po których uczestnicy spodziewali się, że będą trudne i faktycznie były trudne. Nie ma tutaj niespodzianki, są natomiast możliwości do usprawnień.
2. „Promuj” (ang. *promote*) - w prawej dolnej części są czynności, które wydawały się uczestnikom trudne, ale faktycznie były łatwe. Jest to przyjemne zaskoczenie, zarówno dla projektanta systemu jak i dla uczestników. Są to funkcjonalności, które mogą pomóc wyróżnić system wśród konkurencji.
3. „Nie dotykaj” (ang. *don't touch it*) - dolna lewa część wykresu zawiera czynności, po których uczestnicy spodziewali się, że będą łatwe i faktycznie były łatwe. Te funkcjonalności działają zgodnie z oczekiwaniami. Nie należy nic w nich zmieniać, żeby nie wywołać negatywnego skutku.
4. „Napraw szybko” (ang. *fix it fast*) - w górnej lewej części znajdują się czynności, które zostały przed badaniem ocenione, że będą łatwe, ale okazały się trudne. Te funkcjonalności są największym rozczarowaniem dla uczestników. Na nich należy skupić się w pierwszej kolejności.

W zależności od tego, do której części wykresu ocena danej czynności zostanie przyporządkowana, będzie możliwe określenie tych obszarów, które działają poprawnie, które wyróżniają oprogramowanie na tle konkurencji lub na usprawnieniu których funkcjonalności należy się skupić (Albert and Tullis, 2013).

Przykładowy wykres z naniesionymi wartościami oczekiwań oraz doświadczenia został pokazany na rysunku 6.5.



Rysunek 6.5: Porównanie średnich ocen oczekiwań oraz średnich ocen doświadczenia dla zestawu działań w testach przydatności. Zaadoptowano z (Albert and Dixon, 2003)

Figure 6.5: Comparison of average expectation ratings and average experience ratings for a set of tasks in a usability test. Adapted from (Albert and Dixon, 2003)

Wspomaganie użytkownika poprzez zastosowanie metody umożliwiającej konfigurację modelu 3D naczynia trybie AR (a finalnie powstanie projektu tego naczynia) powinno skutkować:

1. usprawnieniem procesu komunikacji pomiędzy zamawiającym nowy projekt naczynia, a konstruktorem prowadzącym projekt poprzez aktywny udział zamawiającego w procesie powstawania modelu 3D naczynia oraz jego bezpośredni wpływ na ten proces,
2. znaczącym skróceniem czasu opracowania projektu (w tym ilości wersji pośrednich, które zostały opracowane do momentu uzyskania finalnej akceptacji) dzięki funkcjonalności automatycznego wygenerowania modelu parametrycznego na bazie opracowanego modelu w środowisku AR,

3. zwiększeniem poziomu satysfakcji zamawiającego z tego jak ten proces przebiega dzięki bardziej efektywnym sposobom przeglądania, oceny i interpretacji opracowywanego modelu oraz możliwości aktywnego wpływania na ten proces i jego rezultaty,
4. szybszym uzyskaniem finalnego zatwierdzenia projektu opracowanego naczynia dzięki temu, że zamawiający współtworzył ten projekt.

6.2.1 Uczestnicy

Badania eksperymentalne przeprowadzone zostały przy udziale autora oraz grupy liczącej 8 osób.

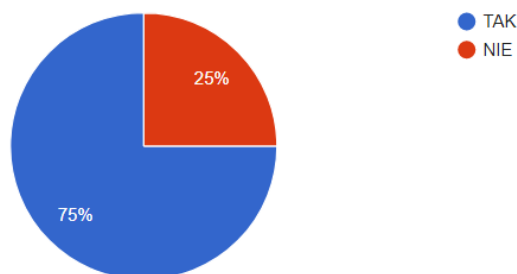
Do udziału w badaniach zaproszone zostały osoby, które nie posiadały zaawansowanej wiedzy z zakresu projektowania naczyń szklanych. Wszyscy użytkownicy byli w wieku aktywności zawodowej oraz posiadali wykształcenie wyższe.

Większość uczestników zadeklarowała, że biegle posługuje się jednym lub więcej zaawansowanym narzędziem CAX (rys. 6.6). Uczestnicy zostali również zapytani o ogólne umiejętności oraz wiedzę związaną z pracą z użyciem programów. Odpowiedzi zostały graficznie pokazane na rysunku 6.7.

Autor pełnił w badaniu rolę konstruktora naczyń szklanych, podczas gdy zostali uczestnicy pełnili rolę zamawiającego.

Biegle posługuję się jednym lub więcej zaawansowanym systemem CAD

8 odpowiedzi



Rysunek 6.6: Graficzne przedstawienie podziału uczestników badań na osoby, które biegle posługują się jednym lub więcej systemem CAX oraz pozostałych specjalistów

Figure 6.6: Graphical representation of the participants in the study who are proficient in one or more CAX and other professionals

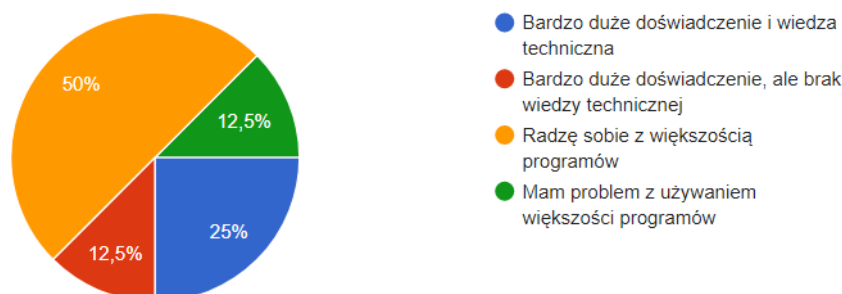
6.2.2 Środowisko testowe

Walidacja opracowanej metody polegała na realizacji eksperymentów z wykorzystaniem środowiska AR, które przygotowane zostało w oparciu o system AR składający się z aplikacji mobilnej AR uruchomionej na smartfonie zintegrowanej z systemem Creo Parametric 4.0² (patrz rozdział 3.1) poprzez moduł integrujący.

²W trakcie prowadzenia badań system CAX został zaktualizowany do nowszej wersji; nie wpłynęło to na działanie systemu AR.

Jak byś oceniła / ocenił swoje umiejętności oraz wiedzę związaną z pracą programach?

8 odpowiedzi



Rysunek 6.7: Graficzne przedstawienie odpowiedzi dotyczących ogólnych umiejętności oraz wiedzy związanej z pracą w programach komputerowych

Figure 6.7: Graphical representation of answers regarding general skills and knowledge related to work in computer programs

6.2.3 Plan oraz przebieg badań walidacyjnych

Ocenę przydatności metody wspomagania projektowania naczyń szklanych przeprowadzono w oparciu o scenariusz nr 3 opisany w rozdziale 5.3. Scenariusz ten posłużył do utworzenia modelu 3D wybranego naczynia szklanego na bazie istniejącego naczynia z użyciem systemu AR działającego na urządzeniu mobilnym. Możliwe było dzięki temu określenie przydatności metody do szybkiego i sprawnego uzyskania pożądanego efektu w postaci modelu 3D, który odzwierciedla wymagania zamawiającego.

Walidacja metody została przeprowadzona zgodnie z następującym planem:

1. Rozmowa, z uczestnikiem, podczas której omawiany był cel badania oraz podstawowe funkcjonalności systemu;
Podczas rozmowy autor wyjaśniał również w sposób ogólny logikę działania systemu oraz fakt równoczesnego powstawania modelu parametrycznego.
Autor nie szkolił uczestników z zakresu obsługi systemu - użytkownik realizował swoje działania w oparciu o opracowaną specjalnie do tego celu instrukcję w wersji papierowej. Instrukcja zawierała przedstawiony w sposób graficzny opis funkcjonalności systemu oraz spis czynności do wykonania. Uczestnik poznawał poszczególne funkcjonalności systemu w podczas wykonywania tych działań;
2. Uzupełnienie formularza oceny oczekiwań - w trakcie, gdy uczestnik zapoznawał się z instrukcją oraz z treścią czynności do wykonania podczas realizacji działań scenariusza, uzupełniał odpowiedzi w opracowanym formularzu, który się w tej instrukcji znajdował,
3. Utworzenie przez użytkownika modelu zgodnie ze scenariuszem oraz zapisanie go w pamięci urządzenia mobilnego (a w tle również w pamięci stacji roboczej, na której działa system CAx).

4. Ocena systemu AR przez użytkownika - uzupełnienie formularza oceny doświadczenia.

Eksperyment polegał na realizacji określonych zadań zgodnie z opracowanym scenariuszem. W realizacji scenariusza za każdym razem brał udział konstruktor oraz jeden uczestnik w roli zamawiającego.

Zadania scenariusza były dostępne dla uczestnika w opracowanej instrukcji testów walidacyjnych³ i mogły być realizowane w dowolnej kolejności, przy założeniu, że zachowane będą dwa etapy:

1. wstępne uzyskanie kształtu naczynia poprzez dobranie właściwych jego części z dostępnych w pamięci urządzenia mobilnego oraz wybranie właściwego jego koloru (rys. 6.8),
2. edycja wartości parametrów wymiarowych (rys. 6.9),

Efektom było uzyskanie naczynia o kształcie jak najbardziej zbliżonym do fizycznej butelki (patrz rys. 5.5) oraz uzyskanie właściwej pojemności wsadu - 340 ml, przy założeniu, że nowe naczynie ma posiadać główkę o mniejszej średnicy szyjki. W rezultacie uczestnik zmuszony był dokonać korekty modelowanego naczynia (powiększyć je w wybrany przez siebie sposób - np. zwiększając wysokość, średnicę, długość szyjki itd.), żeby utrzymać przyjętą pojemność, a więc nanosił bezpośrednio na model swoje wymagania dotyczące kształtu.

Osoba w roli zamawiającego podejmowała decyzję, w którym momencie realizacja scenariusza kończyła się powodzeniem pod warunkiem, że uzyskana została właściwa pojemność (po uzyskaniu pojemności możliwa była dalsza edycja parametrów w celu dopracowania postaci geometrycznej modelu 3D).

Uczestnicy w czasie rzeczywistym porównywali wirtualny model 3D naczynia z jego fizycznym odpowiednikiem wykonując kolejne iteracje wprowadzania zmian i stopniowo uzyskując wymagany kształt i pojemność fizycznego naczynia. Kolejne kroki tego procesu zostały pokazane na rysunku 6.9.

Uczestnicy wykonywali kolejne działania, testując poszczególne elementy metody, takie jak:

- zmiana koloru modelu 3D naczynia,
- wybór właściwych części modelu 3D naczynia (główki, szyjki, korpusu oraz stopy),
- utworzenie wstępnego modelu 3D naczynia,
- edycja parametrów wymiarowych modelu 3D naczynia w celu uzyskania kształtu fizycznej butelki,
- uzyskanie właściwej pojemności modelu 3D naczynia odpowiadającej pojemności fizycznego naczynia,

Efektom końcowym badania było utworzenie modelu 3D naczynia szklanego o określonej pojemności.

W trakcie działań uczestnicy badania sprawdzili:

- stopień trudności uzyskania modelu 3D,

³Tekst instrukcji jest dokumentem nieformalnym i nie stanowi głównej treści niniejszego opracowania.

- czasochłonność procesu uzyskania modelu 3D naczynia,
- pracochłonność procesu uzyskania modelu 3D naczynia (ilość operacji potrzebnych do uzyskania modelu 3D naczynia),
- trudność w nauczaniu się obsługi systemu.

6.2.4 Ocena metody

Ocena miała charakter jakościowy i została dokonana na podstawie wypełnianych przed i po badaniu kwestionariuszy (przed - w wersji papierowej, a po - w wersji elektronicznej).

Kwestionariusze zawierały stwierdzenia do których miał się ustosunkować uczestnik badania. Stwierdzenia do kwestionariuszy zostały tak dobrane i skonstruowane, aby możliwa była na ich podstawie odpowiedź na następujące pytania:

- Czy opracowana metoda umożliwia wykonywanie działań w scenariuszu odwzorowującym realny przypadek (utworzenie modelu 3D w oparciu o istniejące naczynie przez osobę niebędącą konstruktorem naczyń)?
- Czy opracowana metoda zdaniem uczestników jest pracochłonna?
- Czy opracowana metoda zdaniem uczestników jest czasochłonna?
- Czy opracowana metoda jest dla uczestników zrozumiała i łatwa?
- Czy działania wykonywane podczas realizacji opracowanej metody są dla uczestników ciekawe?

Finalnie, wynikiem testów była odpowiedź na pytania:

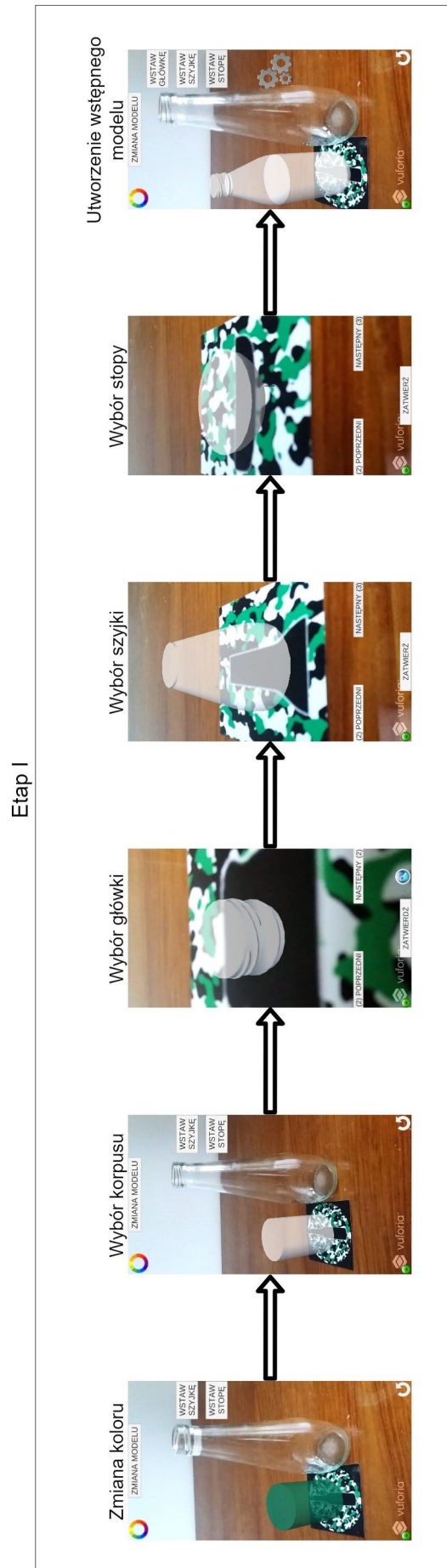
- Czy zdaniem testujących metoda jest przydatna w tworzeniu modeli 3D naczyń szklanych?
- W jakich obszarach metoda spełniła oczekiwania uczestników?
- W jakich obszarach metoda wymaga dopracowania?

Uczestnicy badania ustosunkowali się do stwierdzeń za pomocą opracowanej przez autora siedmiostopniowej interwałowej skali Likerta (Albert and Tullis, 2013). Uczestnicy badania decydowali w jakim stopniu - w skali 1 - 7 - zgadzali się z zaproponowanymi stwierdzeniami dotyczącymi metody, innymi słowy oceniali czy poszczególne czynności były dla nich łatwe, czy trudne.

Skala została pokazana na rysunku 6.4.

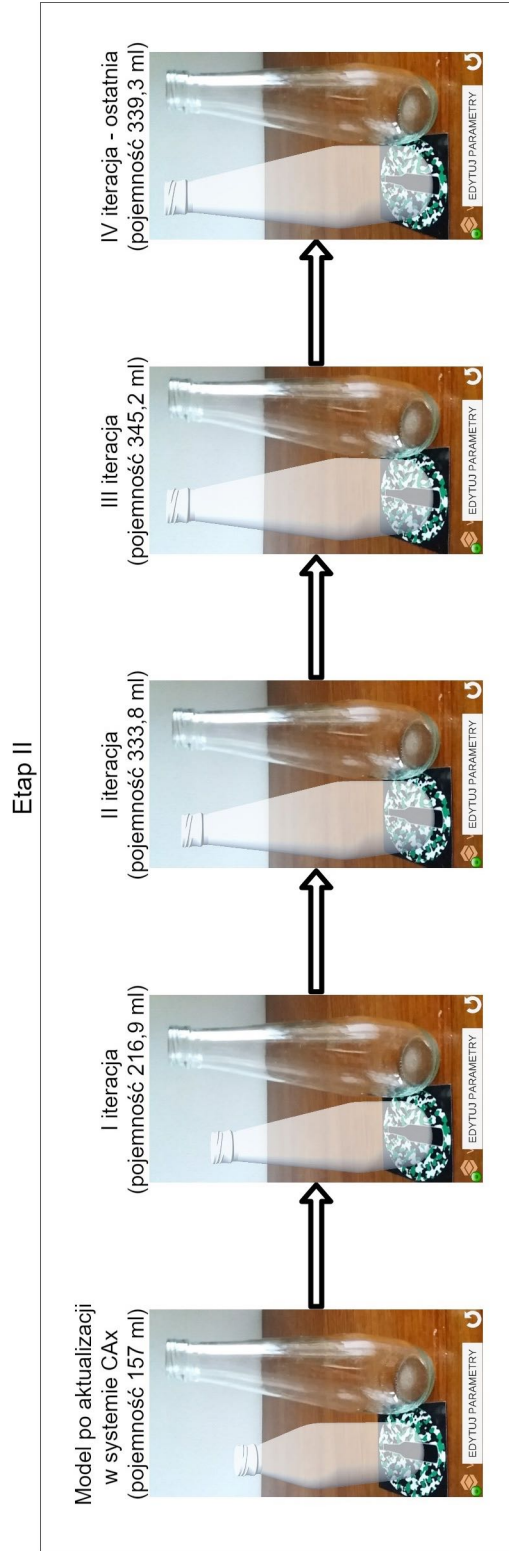
Kwestionariusze zostały podzielone na trzy części:

1. realizacja działań projektowych,
2. ogólna ocena metody,
3. podsumowanie.



Rysunek 6.8: Realizacja działań pierwszego etapu scenariusza - wybór koloru, wybór właściwych części naczyń, utworzenie wstępnego modelu 3D naczyń

Figure 6.8: Performing activities of the first stage of the scenario - choosing a color, choosing the right parts of the container, creating a preliminary 3D model of the container



Rysunek 6.9: Realizacja działań drugiego etapu scenariusza - edycja parametrów wymiarowych oraz dopasowanie pojemności; działania wykonywane w otoczeniu fizycznego naczynia

Figure 6.9: Performing activities of the second stage of the scenario - editing of dimensional parameters and capacity adjustment; activities performed with the use of a physical container

W części dotyczącej realizacji działań projektowych uczestnicy ustosunkowali się do następujących zagadnień:

1. Działania związane z wyborem właściwego koloru modelu 3D naczynia będą / były trudne do wykonania.
2. Działania związane z wyborem właściwych części modelu 3D naczynia (główki, szyjki, korpusu oraz stopy) będą / były trudne do wykonania.
3. Utworzenie wstępnego modelu 3D naczynia będzie / było trudne do wykonania.
4. Edycja parametrów wymiarowych modelu 3D naczynia w celu uzyskania kształtu fizycznej butelki będzie / była trudna do wykonania.
5. Uzyskanie właściwej pojemności modelu 3D naczynia odpowiadającej pojemności fizycznego naczynia będzie / było trudne do wykonania.

Średnie odpowiedzi na te pytania zostały pokazane na wykresie na rysunku 6.10.

W części tej w każdym przypadku działanie było łatwiejsze, niż wydawało się uczestnikom przed rozpoczęciem badania.

Największym zaskoczeniem dla uczestników była łatwość z jaką mogli wykonywać działania związane z wyborem części modelu 3D (średnia przed badaniem: $\bar{X} = 2,75$, a po badaniu: $\bar{X} = 1,50$) oraz z utworzeniem wstępnego modelu 3D (średnia przed badaniem: $\bar{X} = 2,75$, a po badaniu: $\bar{X} = 1,63$).

W przypadku pytania dotyczącego działania związanego z wyborem koloru - czynność ta wydawała się uczestnikom bardzo łatwa przed badaniem ($\bar{X} = 1,63$), ale mimo to po badaniu okazała się jeszcze łatwiejsza ($\bar{X} = 1,13$).

Najtrudniejsze okazało się działanie związane z uzyskaniem właściwej pojemności modelu 3D naczynia. Uczestnicy spodziewali się, że będzie to najtrudniejsza czynność z tej części scenariusza (średnia ocen przed badaniem: $\bar{X} = 3,13$) i taka istotnie była (średnia ocen po badaniu: ($\bar{X} = 2,63$).

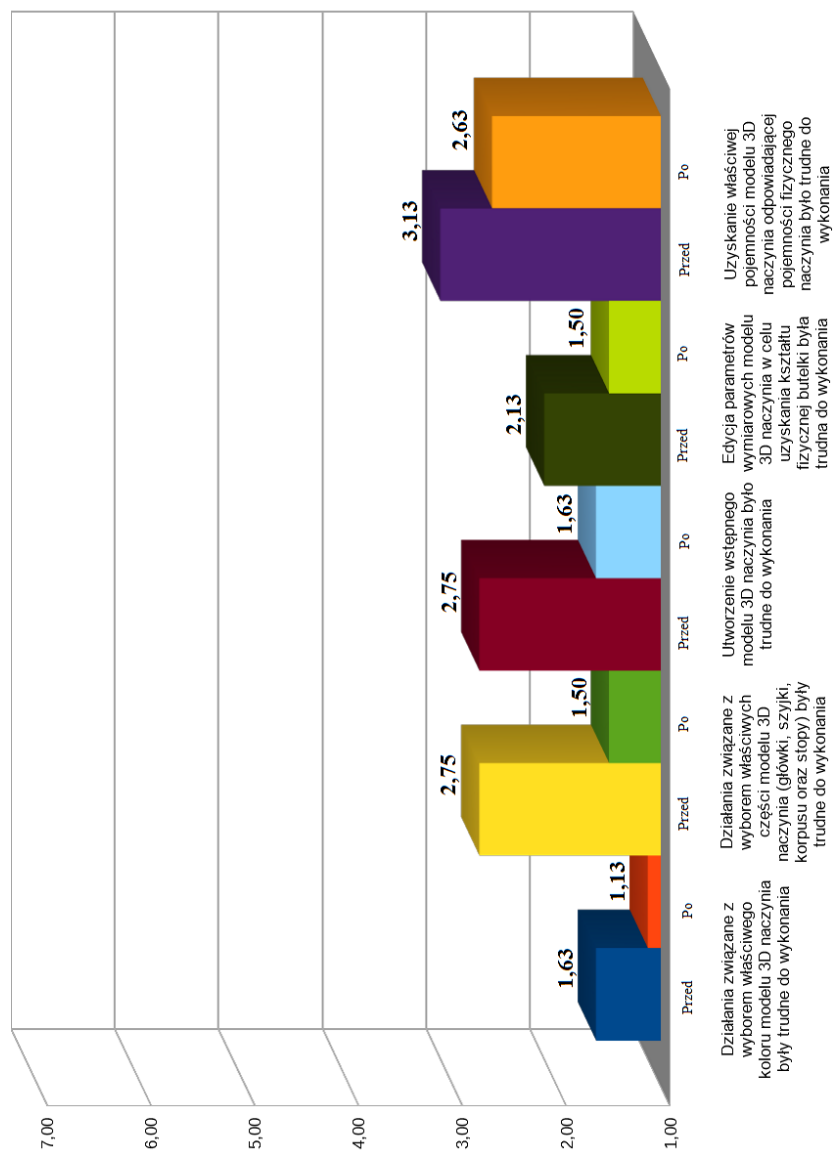
Pewnym zaskoczeniem dla autora były odpowiedzi uczestników dotyczące działania związanego z edycją parametrów utworzonego modelu 3D w celu uzyskania kształtu fizycznej butelki. Odpowiedzi przed badaniem były stosunkowo niskie ($\bar{X} = 2,13$) co oznaczało, że to działanie wydawało się uczestnikom łatwe, a po badaniu okazały się jeszcze niższe ($\bar{X} = 1,50$).

W opinii autora ciężar tego pytania został przeniesiony na zagadnienie związane z uzyskaniem właściwej pojemności.

Z punktu widzenia opracowanej metody jest to bardzo pozytywne zjawisko, gdyż techniczny aspekt związany z działaniem systemu (edycja parametrów wymiarowych modelu 3D, która w systemach parametrycznych wymaga bardziej złożonych działań, zaawansowanej wiedzy i doświadczenia) okazał się dla uczestników łatwy. Mogli więc oni w dużo większym stopniu skoncentrować się na czynnościach w ich odczuciu trudniejszych, czyli na takim dopasowaniu kształtu modelu wirtualnego do fizycznego, żeby uzyskać właściwą pojemność.

W części dotyczącej realizacji głównego celu metody uczestnicy ustosunkowali się do następujących zagadnień:

1. Utworzenie modelu 3D naczynia w jak największym stopniu zbliżonego do dostarczonego naczynia będzie/było trudne.
2. Utworzenie modelu 3D naczynia w jak największym stopniu zbliżonego do dostarczonego naczynia będzie/było czasochłonne.



Rysunek 6.10: Wartości średnie wyników badań użyteczności metody wspomagania projektowania naczyń szklanych - część dotycząca realizacji działań projektowych

Figure 6.10: Average values of the results of the research of usability tests of the support method of designing glass containers - design activities

3. Utworzenie modelu 3D naczynia w jak największym stopniu zbliżonego do dostarczonego naczynia będzie wymagało/wymagało wykonania bardzo wielu operacji w systemie.
4. Nauczenie się postępowania według tej metody projektowania początkowo sprawiło mi wiele problemów.

Średnie odpowiedzi na te pytania zostały pokazane na rysunku 6.11.

Podobnie jak w poprzedniej części, tak również tutaj oceny uczestników były wyższe po badaniu, niż przed.

Największym zaskoczeniem dla uczestników była łatwość z jaką mogli utworzyć model 3D naczynia w jak największym stopniu zbliżony do dostarczonego naczynia (średnia ocen przed badaniem: $\bar{X} = 4,00$, średnia ocen po badaniu: $\bar{X} = 2,00$).

Uczestnicy spodziewali się również, że utworzenie modelu 3D zajmie im nieco więcej czasu (średnia ocen przed badaniem: $\bar{X} = 3,13$, średnia ocen po badaniu: $\bar{X} = 2,25$) oraz będzie nieco bardziej pracochłonne (średnia ocen przed badaniem: $\bar{X} = 3,63$ oraz po badaniu: $\bar{X} = 2,63$), niż faktycznie było.

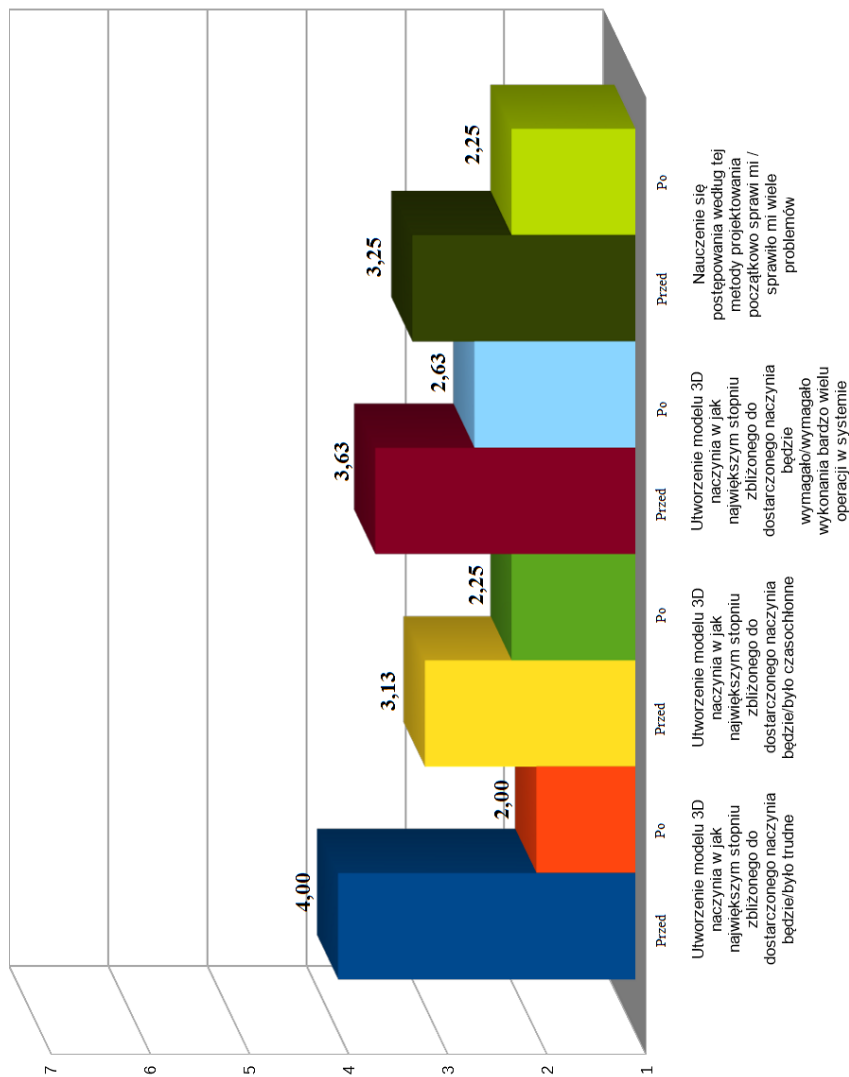
Stopień pracochłonności - mimo że i tak okazał się mniejszy, niż się wydawał początkowo - był stosunkowo wysoki, gdyż wiązał się z koniecznością wykonania wielu iteracji przebudowy modelu, w celu dopasowania kształtu oraz pojemności. W przypadku niedoświadczonych użytkowników (a do takich właśnie skierowana jest opracowana metoda) wykonanie kilku pierwszych prób związanych z edycją parametrów oraz aktualizacją modelu 3D w środowisku AR umożliwia poznanie sposobu, w jaki działa system. Kolejne próby (edycja kolejnych parametrów, jak np. średnicy korpusu, długości szyjki, wysokości całkowitej itd.) prowadziły do uzyskiwania określonej pojemności.

Powyższa prawidłowość znalazła swoje odzwierciedlenie w ocenie dotyczącej ostatniego zagadnienia, w którym uczestnicy ustosunkowali się do stwierdzenia, czy zaproponowana metoda początkowo sprawi im sporo problemów. Odpowiedzi wskazują, że metoda okazała się łatwiejsza, niż początkowo się wydawało (średnia odpowiedzi przed badaniem: $\bar{X} = 3,25$ oraz po badaniu: $\bar{X} = 2,25$), a w powiązaniu z odpowiedziami na pytanie pierwsze (które dotyczyło oceny stopnia trudności utworzenia modelu 3D) można wnioskować, że po zapoznaniu się z metodą uczestnicy byli w stanie sprawnie posługiwać się systemem i bez większych trudności realizować działania określone w scenariuszu. W podsumowaniu uczestnicy odpowiedzieli na następujące pytania:

1. Będę musiała / musiał lub musiałam / musiałem prosić o wsparcie w większości przypadków podczas używania tego oprogramowania.
2. Praca z oprogramowaniem opartym na tej metodzie była / będzie umysłowo stymulująca.
3. Jak ważny dla Ciebie jest rodzaj oprogramowania, które oceniałas / oceniałeś?

Średnie odpowiedzi na pytanie nr 1 i 2 zostały pokazane na rysunku 6.12, natomiast odpowiedzi na pytanie nr 3 zostały pokazane na rysunku 6.13.

Odpowiedzi na pytania 1 i 2 po testach również były bardziej korzystne, niż przed testami.

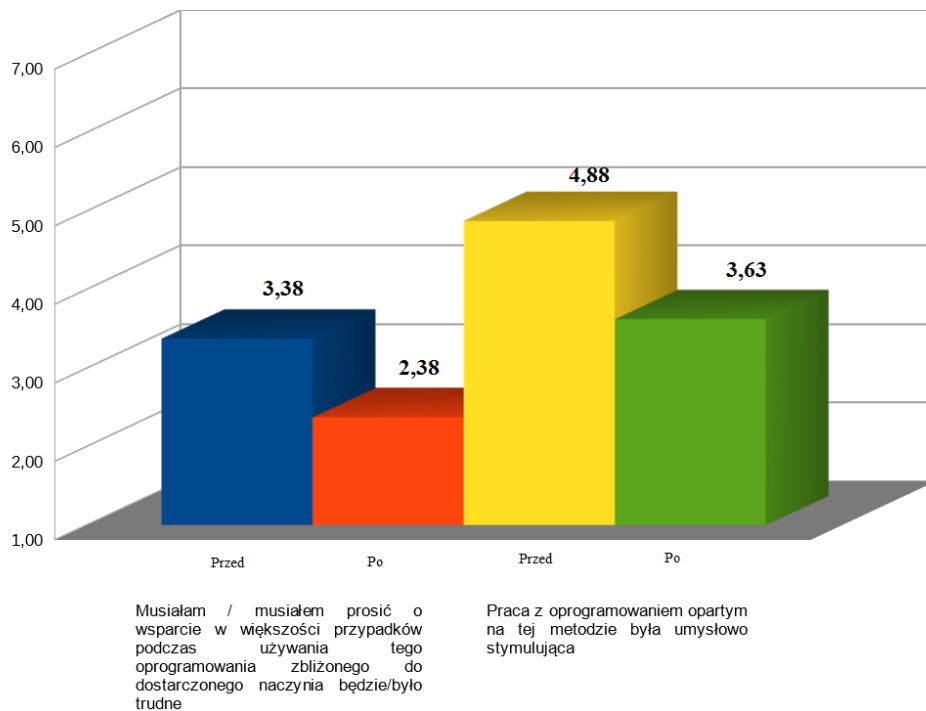


Rysunek 6.11: Wartości średnie wyników badań użyteczności metody wspomaganie projektowania naczyń szklanych - część dotycząca realizacji głównego celu badania

Figure 6.11: Average values of the results of the research of usability tests of the support method of designing glass containers - main design goal

Uczestnicy spodziewali się, że będą potrzebowali większego wsparcia podczas realizacji działań w systemie, niż faktycznie potrzebowali (średnia ocen przed badaniem: $\bar{X} = 3,38$ oraz po badaniu: $\bar{X} = 2,38$). Ma to szczególne znaczenie, gdy uwzględnimy fakt, że uczestnicy nie zajmują się zawodowo projektowaniem naczyń szklanych, a efektem ich działań było utworzenie modelu parametrycznego. Dodatkowo działania te były dla uczestników w sporym stopniu ciekawe i umysłowo stymulujące (ocena przed badaniem: $\bar{X} = 4,88$, po badaniu: $\bar{X} = 3,63$). Nieco niższe oceny w tym punkcie związane są z faktem, że branża projektowania opakowań nie była zbyt znacząca dla uczestników badania, co miało swoje odzwierciedlenie w ostatnim pytaniu, w którym uczestnicy zostali zapytani jak ważne było dla nich oprogramowanie, które oceniali. Połowa uczestników odpowiedziała, że było niezbyt ważne, 25% że ważne oraz 25% że nieważne. Niemniej jednak pomimo tego faktu uczestnicy wykazali się sporym zaangażowaniem w badania, co miało swoje odzwierciedlenie w uwagach przekazanych w ostatnim, otwartym pytaniu, w którym mieli możliwość przekazania swoich uwag i spostrzeżeń.

Szczegółowe wyniki badań zamieszczone zostały w C - w sposób graficzny na rysunkach C.1 - C.11, podczas gdy szczegółowe wyniki w tabelach C.1 - C.4.



Rysunek 6.12: Wartości średnie wyników badań użyteczności metody wspomaganie projektowania naczyń szklanych - część dotycząca podsumowania

Figure 6.12: Average values of the results of the research of usability tests of the support method of designing glass containers - summary

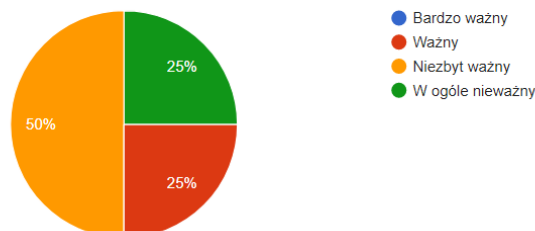
W ostatnim pytaniu uczestnicy zostali zapytani który z aspektów tego oprogramowania uważają za najważniejszy i dlaczego.

Najczęściej pojawiającą się zaletą była możliwość oglądania wirtualnego modelu 3D naczynia w rzeczywistym świecie oraz możliwość porównania go z rzeczywistą butelką:

- (...) wizualizacja w otoczeniu z użyciem smartphona,

Jak ważny dla Ciebie jest rodzaj oprogramowania, które oceniałeś / oceniałeś?

8 odpowiedzi



Rysunek 6.13: Ocena uczestników dotycząca tego, jak ważne było dla nich oprogramowanie, które oceniali

Figure 6.13: The participants' evaluation of how the software they evaluated was important to them

- *Wyświetlanie modelu 3D w rzeczywistym środowisku. Można zobaczyć model porównując go do innych obiektów, które nas otaczają,*
- *Możliwość wizualizacji modelu w rzeczywistości,*
- *Prostotę budowania modelu połączoną z możliwością porównywania, w czasie rzeczywistym, na ekranie urządzenia tworzonego modelu i wzorca,*
- *Możliwość porównania do rzeczywistego wzorca.*

Drugim aspektem, na który wskazywała większość uczestników badań była łatwość, z jaką byli w stanie utworzyć model 3D oraz uzyskać kształt i pojemność rzeczywistego naczynia:

- *Uzyskanie odpowiedniej pojemności naczynia przy zachowaniu kształtu zgodnego z rzeczywistą butelką,*
- *Szybkie utworzenie modelu komputerowego 3D,*
- *Możliwość projektowania parametrycznego z gotowych podzespołów,*
- *Prostotę budowania modelu (...),*
- *Prostota w stwarzaniu modelu i jego edytowanie,*
- *Łatwość odwzorowywania.*

Część użytkowników wskazywała również na fakt, że działania w systemie mogą być wykonywane z aktywnym udziałem zamawiającego naczynie: *klient może być obecny w trakcie powstawania modelu butelki i brać w nim udział* oraz że ich zdaniem opracowana metoda prezentowania modelu w trakcie projektowania na tle świata rzeczywistego jest przyszłościowa: *Aspekt ten należy do przyszłościowych rozwiązań w obszarze projektowania.*

Ostatnim elementem oceny badań było określenie obszarów, w których opracowana metoda spełniła oczekiwania użytkowników, tych, w których się wyróżnia oraz w których wymaga usprawnienia.

W tym celu średnie ocen z poszczególnych zagadnień do których ustosunkowali się uczestnicy badania zostały naniesione na wykres średnich oczekiwań oraz doświadczenia (rysunek 6.14).

Analizując wykres można zauważyć, że wszystkie oceny znajdują się w jego lewej dolnej części (zaznaczonej na wykresie czerwonym kolorem), co oznacza, że wszystkie testowane funkcjonalności działają poprawnie i nie okazały się rozczarowaniem dla uczestników testów.

Najbardziej wartościowe aspekty metody są tymi, które są najbardziej wysunięte w kierunku prawej dolnej części wykresu. Trzy najbardziej wysunięte to:

1. możliwość łatwego utworzenia modelu 3D odzwierciedlającego rzeczywiste naczynie,
2. brak konieczności wykonania bardzo wielu operacji w systemie w celu uzyskania modelu 3D naczynia,
3. możliwość samodzielnej obsługi systemu.

Żadna ze średnich ocen nie znalazła się w obszarach, które wskazywałyby, że wymagają naprawy (uczestnicy spodziewali się, że działanie będzie łatwe, a okazało się trudne) lub że nie spełniają swojej roli (uczestnicy spodziewali się, że działanie będzie trudne i było trudne).

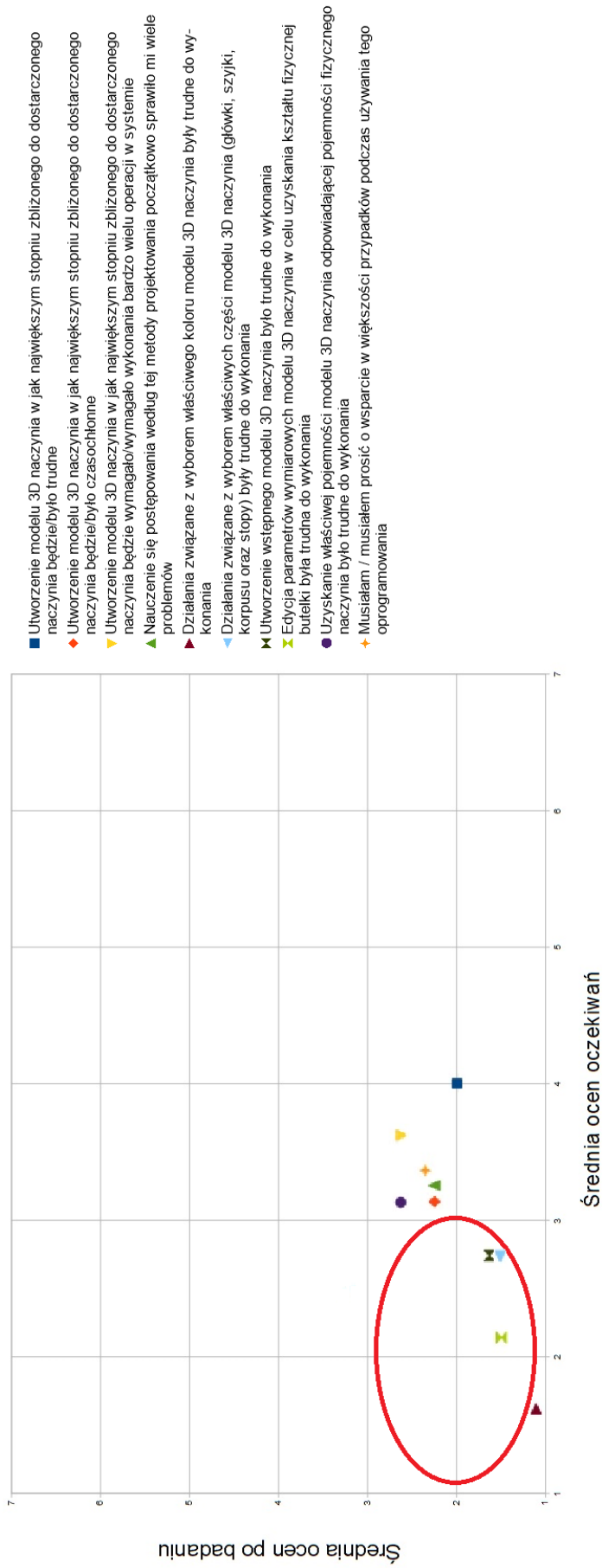
Z tej części badań wynikają trzy najważniejsze wnioski:

1. System oparty o opracowaną przez autora metodę w sposób poprawny umożliwia realizację zaawansowanych działań związanych z projektowaniem modeli 3D naczyń szklanych osobom, które nie są specjalistami z tej dziedziny.
2. Większość z zaawansowanych działań w opinii użytkowników jest stosunkowo łatwa - oznacza to, że:
 - stosując tę metodę przedsiębiorstwo może mieć bardzo dużo korzyści,
 - istnieje możliwość dalszego rozwoju tego systemu o nowe funkcjonalności (nie ma konieczności zbytniego koncentrowania się na naprawianiu funkcjonalności, które działają niewłaściwie), co może skutkować wzrostem jego innowacyjności oraz umożliwieniem realizacji kolejnych działań projektowych.
3. Pozytywny odbiór metody oraz systemu w opinii autora w dużej części spowodowany jest faktem, że większość jego niedoskonałości została usprawionona w oparciu o wyniki badań weryfikacyjnych oraz opinie i sugestie przekazane przez uczestników pierwszej części badań.

6.3. Podsumowanie przeprowadzonych badań

W odniesieniu do opracowanego systemu poszerzonej rzeczywistości przeznaczonego do wspomagania procesu projektowania naczyń szklanych można stwierdzić, że:

1. Przeprowadzone badania potwierdziły, że system działa poprawnie i umożliwia użytkownikom realizację działań związanych z utworzeniem modelu 3D naczynia szklanego w środowisku rzeczywistości poszerzonej.



Rysunek 6.14: Porównanie średnich ocen oczekiwanych oraz średnich ocen po badaniu dla zestawu działań wykonywanych podczas testu użyteczności; kolorem czerwonym zakreślono obszar, w którym znalazły się czynności po których uczestnicy spodziewali się, że będą łatwe i faktycznie były łatwe

Figure 6.14: Comparison of average expectation ratings and average experience ratings for a set of tasks in a usability test; marked with red colour are activities that were expected to be easy and actually were easy

2. Interfejs aplikacji mobilnej, której używa użytkownik jest zrozumiały, przejrzysty oraz łatwy w użyciu i łatwy do nauczenia.
3. System działa wystarczająco szybko i stabilnie.
4. Badania potwierdziły, że utworzenie modelu 3D było dla użytkownika możliwe we wszystkich próbach, możliwa była również edycja parametrów utworzonego modelu 3D.

W odniesieniu do opracowanej metody wspomagania procesu projektowania naczyń szklanych można stwierdzić, że:

1. Przeprowadzone badania potwierdziły poprawność opracowanej metody wspomagania procesu projektowania naczyń szklanych w realnych zastosowaniach.
2. Przeprowadzone badania potwierdziły możliwość realizowania działań projektowych z udziałem osób, które zawodowo nie zajmują się projektowaniem naczyń szklanych.
3. Opracowana metoda jest wystarczająco przystępna i łatwa, żeby użytkownik, który nie ma doświadczenia w realizacji działań związanych z projektowaniem, mógł ją stosować.
4. Aspekt związany z prezentacją projektowanego modelu 3D w rzeczywistym świecie jest dla użytkowników bardzo ważny i przydatny.

Usprawnienie wykonywania działań związanych z projektowaniem naczynia szklanego wynika głównie z:

1. możliwości wizualizacji modeli 3D naczyń szklanych w rzeczywistej skali (1:1),
2. możliwości dokonywania oceny wizualnej prezentowanych modeli 3D naczyń z dowolnej perspektywy na tle świata rzeczywistego, na przykład w otoczeniu rzeczywistych naczyń,
3. odciążania użytkownika niebędącego inżynierem - konstruktorem od wykonywania zaawansowanych operacji, które zostały zautomatyzowane i są realizowane przez system (mechanizmy konfiguracji, reguły wiążące poszczególne parametry modelu 3D, zastosowanie szablonu, aktualizacja parametrów wymiarowych itd.),
4. zastosowania urządzenia mobilnego, a tym samym umożliwienia realizacji działań projektowych w dowolnym miejscu,
5. równoległego powstawania modelu parametrycznego, w oparciu o który możliwe jest wyprodukowanie utworzonego z udziałem zamawiającego modelu 3D naczynia.

Rozdział 7

Podsumowanie i wnioski

Praca jest wynikiem badań autora nad rozwojem zaproponowanej metody wspomaganie procesu projektowania naczyń szklanych z zastosowaniem konfiguratora w środowisku poszerzonej rzeczywistości. Metoda ta powinna znaleźć zastosowanie do wspomaganie procesu projektowania naczyń szklanych przez osoby biorące udział w procesie wdrożenia do produkcji nowego wzoru naczynia, ale nie wykonujące działań związanych z projektowaniem lub wykonywaniem dokumentacji technicznej w zaawansowanych systemach CAx.

Sformułowany na wstępie cel rozprawy został osiągnięty poprzez:

1. opracowanie metody wspomaganie procesu projektowania naczyń szklanych w środowisku poszerzonej rzeczywistości (patrz rozdz. 3),
2. opracowanie i wykonanie systemu wspomaganie procesu projektowania naczyń szklanych z zastosowaniem konfiguratora w środowisku poszerzonej rzeczywistości, stanowiącego praktyczną realizację opracowanej metody (patrz rozdz. 4).

Przeprowadzone badania opracowanej metody oraz środka umożliwiającego praktyczne zastosowanie tej metody umożliwiło ogólne potwierdzenie jej poprawności i przydatności.

W kontekście określonych w punkcie 1.4 tej pracy, można sformułować następujące stwierdzenia:

- Słuszność tezy 1 wykazano poprzez opracowanie systemu AR, który programowo integruje zaawansowany system klasy CAx z silnikiem gier Unity3D, który posłużył jako narzędzie do realizacji technik poszerzonej rzeczywistości.
- Słuszność tezy 2 wykazano poprzez realizację procesu opracowania modelu 3D naczynia szklanego (w tym modelu parametrycznego) z użyciem urządzenia mobilnego w środowisku poszerzonej rzeczywistości, a więc na tle świata rzeczywistego, w otoczeniu rzeczywistego naczynia.
- Słuszność tezy 3 wykazano poprzez realizację utworzenia modelu 3D naczynia szklanego (w tym modelu parametrycznego) przez osoby, które zawodowo nie zajmują się konstruowaniem naczyń szklanych, w tym również przez osoby, które nie posiadają wykształcenia technicznego.

Najważniejszymi, oryginalnymi (zdaniem autora) elementami wykonanej pracy są:

1. opracowanie sposobu programowej integracji dwóch bardzo różnych środowisk - systemu klasy CAx oraz silnika gier umożliwiającego implementację technik AR,
2. opracowanie sposobu konfiguracji naczyń szklanych z użyciem urządzenia mobilnego (w środowisku poszerzonej rzeczywistości) w dowolnej lokalizacji oraz równoległego utworzenia modelu parametrycznego (w środowisku systemu CAx),
3. opracowanie metody umożliwiającej aktywny udział osób nieposiadających zaawansowanej wiedzy oraz umiejętności z dziedziny konstruowania naczyń szklanych w procesie projektowym, którego produktem jest pełnowartościowy model parametryczny, na bazie którego możliwe jest wyprodukowanie naczynia szklanego.

Rozdział 8

Perspektywy rozwojowe

W trakcie tworzenia systemu AR, który stanowi realizację opracowanej metody, jak również na podstawie analizy wyników wykonanych badań, autor dostrzegł szerokie perspektywy rozwojowe oraz stwierdził potrzebę kontynuacji badań nad dalszym rozwojem metod i środków usprawniania oraz automatyzacji procesu projektowego. W opinii autora równie szerokie możliwości dalszego rozwoju dotyczą obszaru wspomagania procesu projektowego technikami umożliwiającymi udział w tym procesie osobom, które na co dzień w nim nie uczestniczą.

Główne kierunki rozwoju oraz badań powinny dotyczyć:

- zastosowania algorytmu umożliwiającego realizację procesu śledzenia bez użycia znaczników (ang. *markerless augmented reality*); w opinii autora jest to jedyny słuszny kierunek rozwoju tych technik,
- rozwoju oraz usprawnienia metod lub nawet opracowania oddzielnego interfejsu umożliwiającego zarządzanie modelami 3D, które są konfigurowane (główka, szyjka, korpus, stopa),
- rezygnacji z równoległego tworzenia odpowiadających sobie modeli po stronie aplikacji na urządzeniu mobilnym oraz w systemie CAx - w opinii autora algorytm ten może zostać przeprojektowany w taki sposób, żeby odbywało się to tylko i wyłącznie w jednym z tych systemów, ale prezentowane w obydwu,
- dalszego rozwoju reguł wspomagających podejmowanie decyzji przez osoby wykonujące działania w systemie AR oraz opracowanie i zaimplementowanie interfejsu przeznaczonego do zarządzania nimi,
- rozbudowania systemu o dodatkową funkcjonalność związaną z automatycznym generowaniem dokumentacji 2D w oparciu o utworzony model,
- wprowadzenia elementów pracy zespołowej dzięki możliwości jednoczesnego oglądania jednego modelu poprzez różne urządzenia mobilne,
- dalszej automatyzacji procesu konstrukcyjnego poprzez rozszerzenie systemu na kolejne jego etapy związane z projektowaniem narzędzi potrzebnych do wyprodukowania zaprojektowanego naczynia,
- rozbudowy systemu o funkcjonalności oparte o wiedzę konstrukcyjną.

Warto również zwrócić uwagę na uniwersalność opracowanej metody - przy stosunkowo niewielkim nakładzie pracy i środków może zostać przeniesiona i zaimplementowana do innych obszarów dóbr konsumpcyjnych (ang. *consumer goods*), w projektowaniu których mógłby aktywny udział wziąć zamawiający, np. branża meblowa lub urządzeń agd, rtv. Mogłaby również być podstawą do opracowania nowych procesów, np. kastomizowania samochodów osobowych itd.

W trakcie realizacji systemu AR autor dostrzegł niezwykle elastyczność zarówno interfejsu programistycznego użytego systemu CAx (Creo Parametric), jak również silnika gier Unity3D, a co za tym idzie niezwykle możliwości obydwu tych środowisk. W przekonaniu autora opracowana metoda oraz system mogą więc posłużyć jako podstawa do rozwoju dużo bardziej zaawansowanych systemów lub nawet platform stanowiących zbiór różnych aplikacji związanych z szeroko rozumianym zarządzaniem procesem konstrukcyjnym.

Ostatnim aspektem, na który warto zwrócić uwagę jest modułowość opracowanego systemu, który składa się z modułu integracyjnego systemu CAx oraz aplikacji mobilnej. Sposób komunikacji pomiędzy tymi modułami jest wystarczająco uniwersalny, żeby zastosowany system CAx - Creo Parametric - mógł zostać zastąpiony dowolnym innym, który posiada interfejs programistyczny umożliwiający realizację działań, w wyniku których mogłyby być odbierane i dostarczane dane do aplikacji mobilnej. Według wiedzy autora większość współczesnych systemów CAx posiada takie możliwości (np. CATIA V5/V6, SolidWorks, NX). Można wyobrazić sobie sytuację, gdy aplikacja mobilna mogłaby współpracować jednocześnie z różnymi rodzajami oprogramowania CAx.

Uwzględniając najnowsze trendy w obszarze rozwoju produktu w opinii autora nic nie stoi na przeszkodzie, żeby opracowany system mógł współpracować z zaawansowanym systemem do zarządzania cyklem życia produktu (np. Windchill PDMLink, 3DEXperience lub Teamcenter). W rozwiązaniu takim dane do aplikacji AR byłyby odczytywane i zapisywane poprzez specjalny interfejs z zasobów bazodanowych takiego systemu i byłyby dodatkowo wzbogacone o szczegółowe informacje o produkcji.

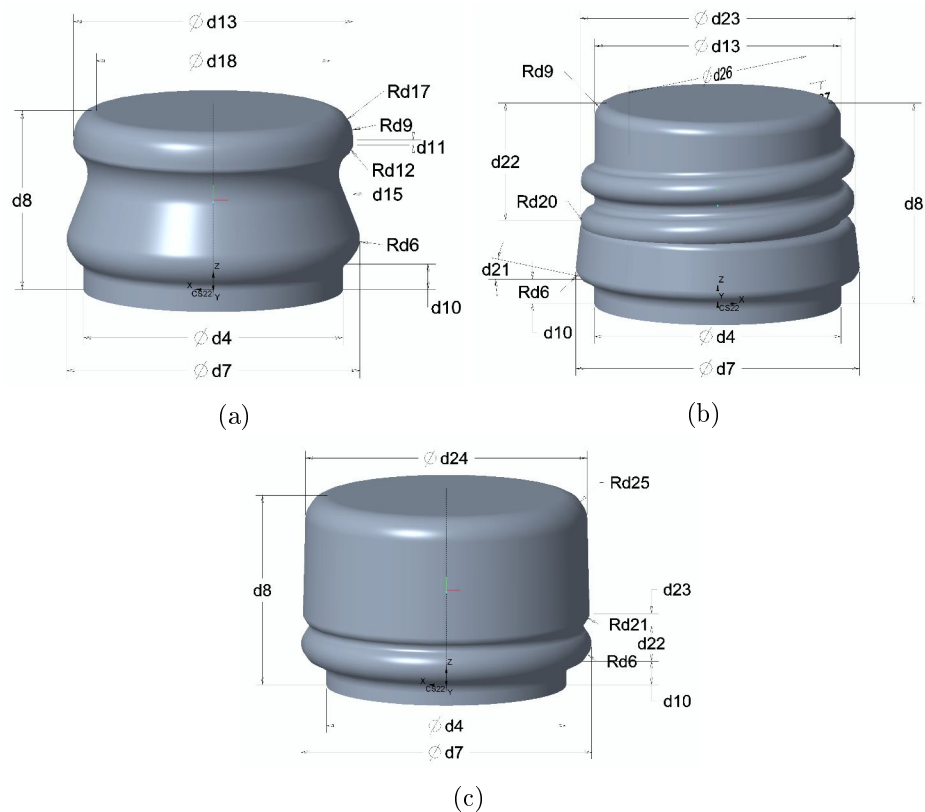
Załączniki

Dodatek A

Modele parametryczne

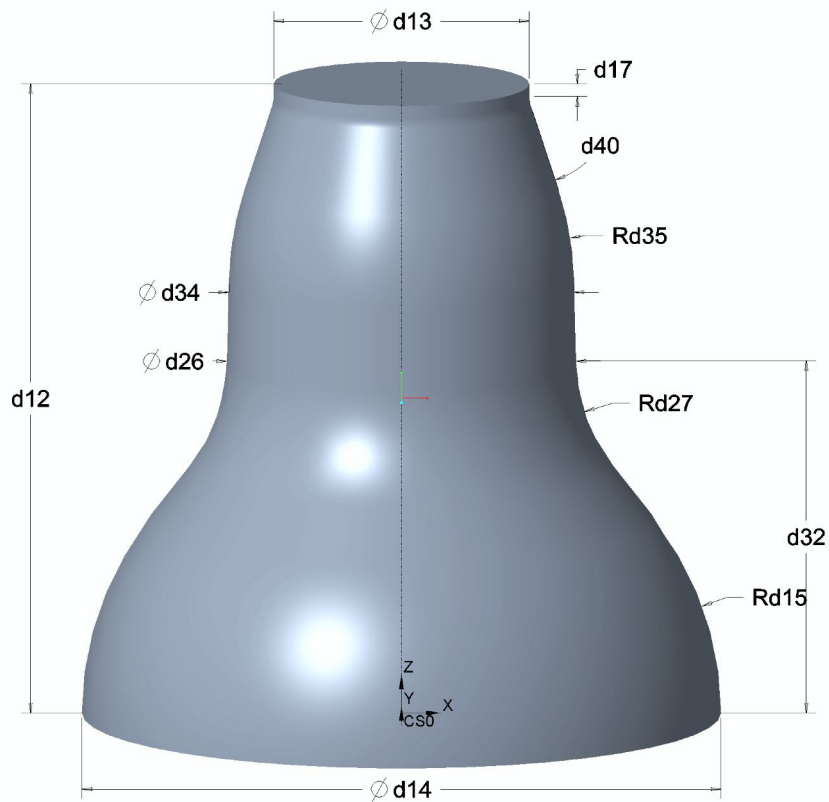
W tej części pracy przedstawione zostały przykładowe parametryczne cechy postaciowe opracowane do celu realizacji systemu AR oraz przeprowadzenia badań.

Szczegółowy opis parametrycznych cech postaciowych został zawarty w części 4.4.



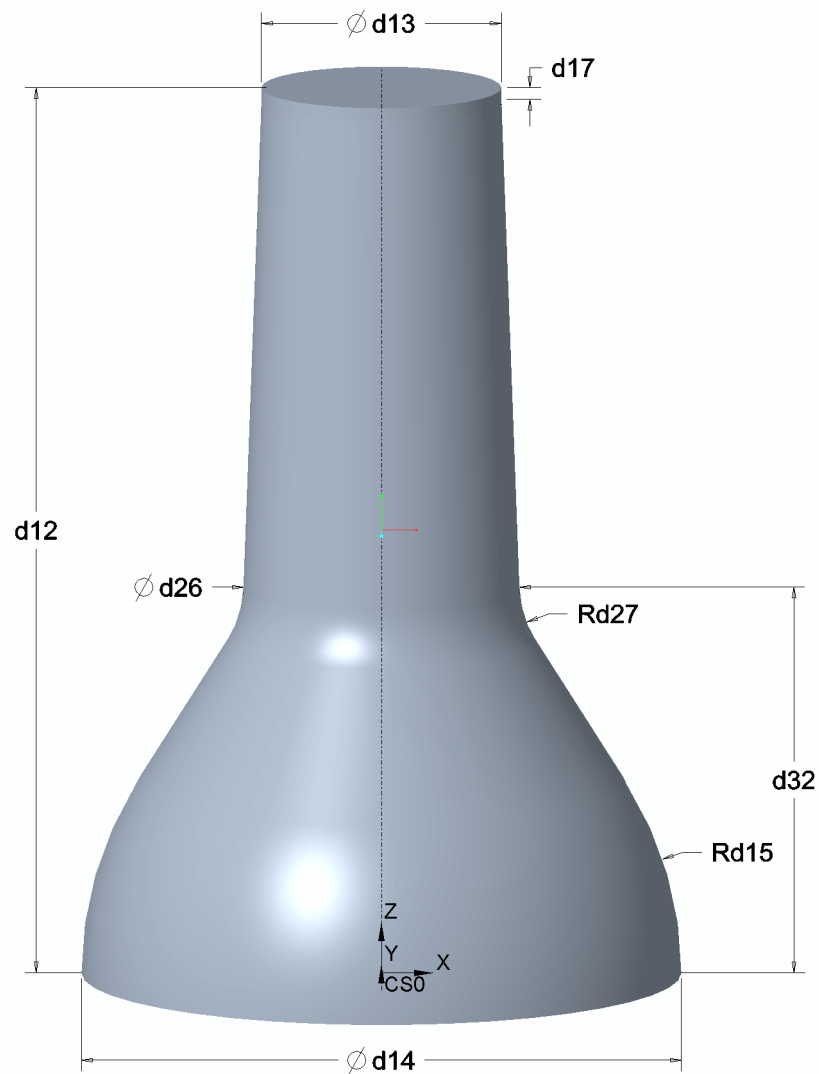
Rysunek A.1: Modele parametryczne główek naczynia szklanego: a) koronowa, b) gwintowana, c) pod korek

Figure A.1: Parametric models of glass container finishes: a) crown, b) screw, c) cork



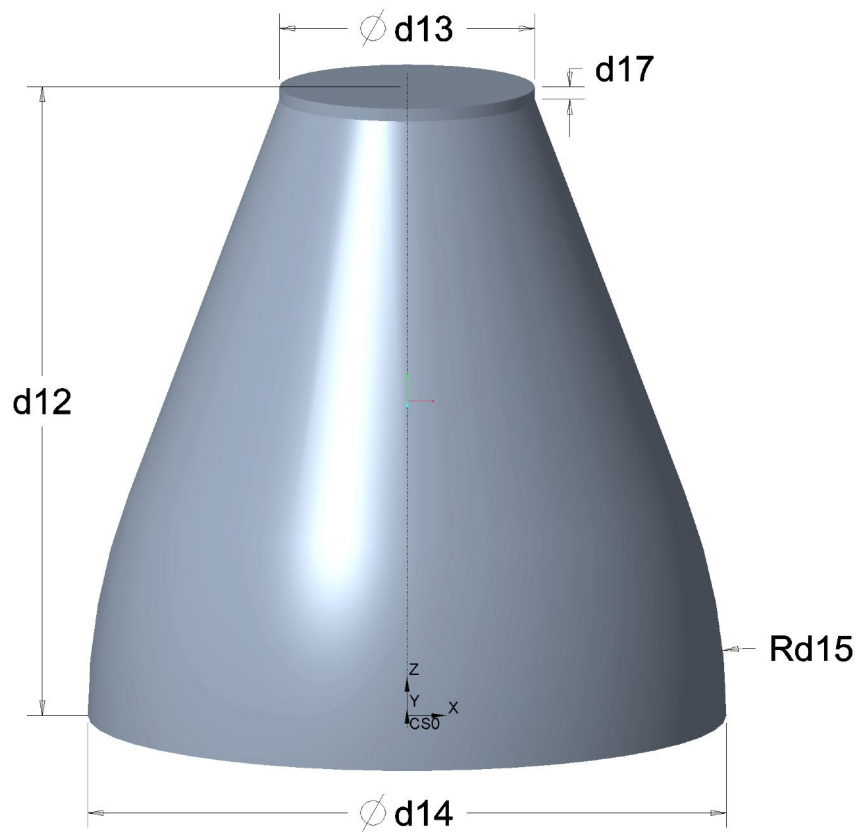
Rysunek A.2: Model parametryczny 3D szyjki naczynia szklanego przeznaczonego do piwa, wykonany jako parametryczna cecha postaciowa naczynia zdefiniowana przez użytkownika

Figure A.2: Parametric 3D model of glass container neck for beer, made as user-defined feature



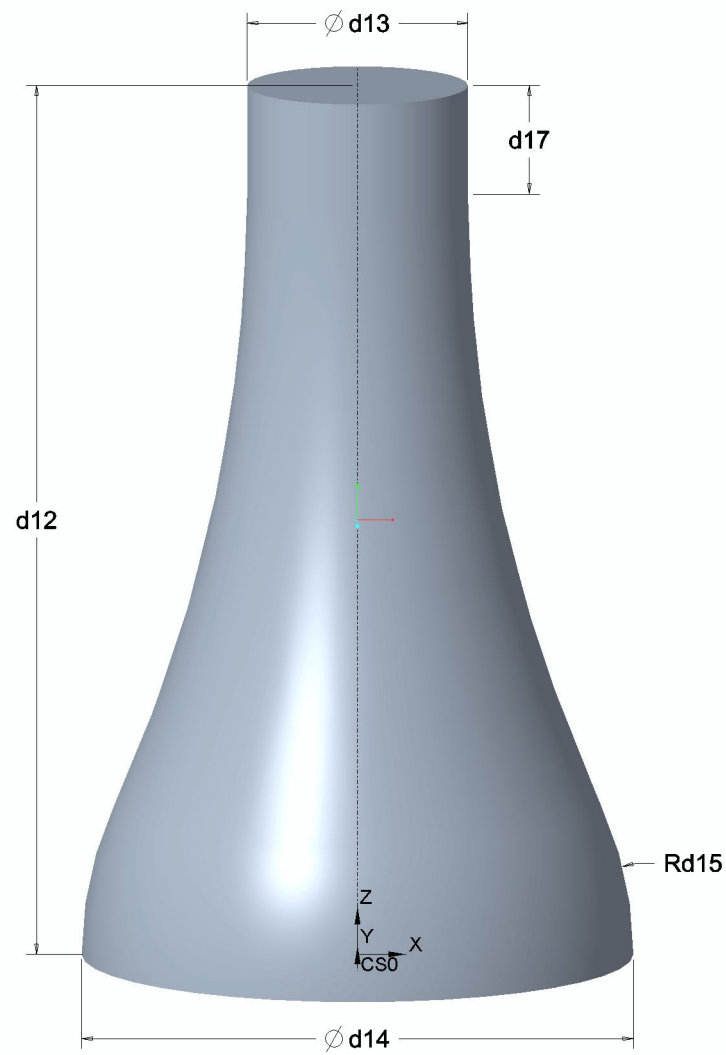
Rysunek A.3: Model parametryczny 3D szyjki naczynia szklanego przeznaczonego do wina, wykonany jako parametryczna cecha postaciowa naczynia zdefiniowana przez użytkownika

Figure A.3: Parametric 3D model of glass container neck for wine, made as user-defined feature



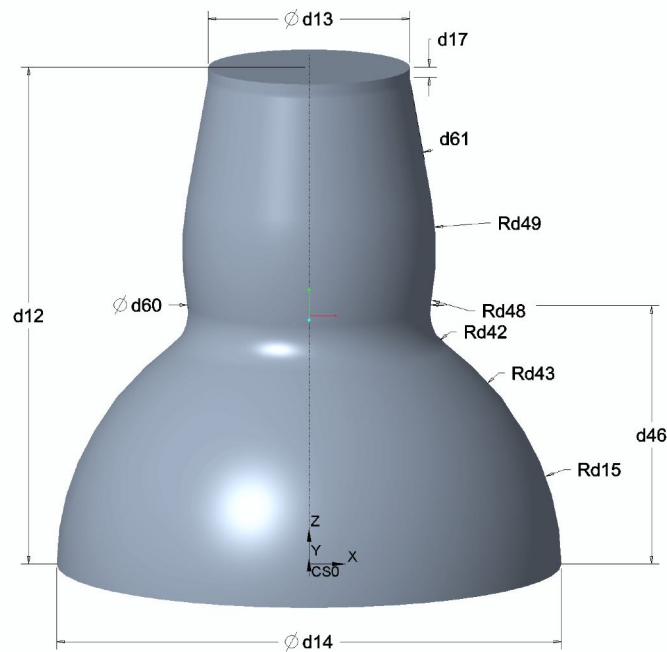
Rysunek A.4: Model parametryczny 3D szyjki naczynia szklanego przeznaczonego do soku, wykonany jako parametryczna cecha postaciowa naczynia zdefiniowana przez użytkownika

Figure A.4: Parametric 3D model of glass container neck for juice, made as user-defined feature



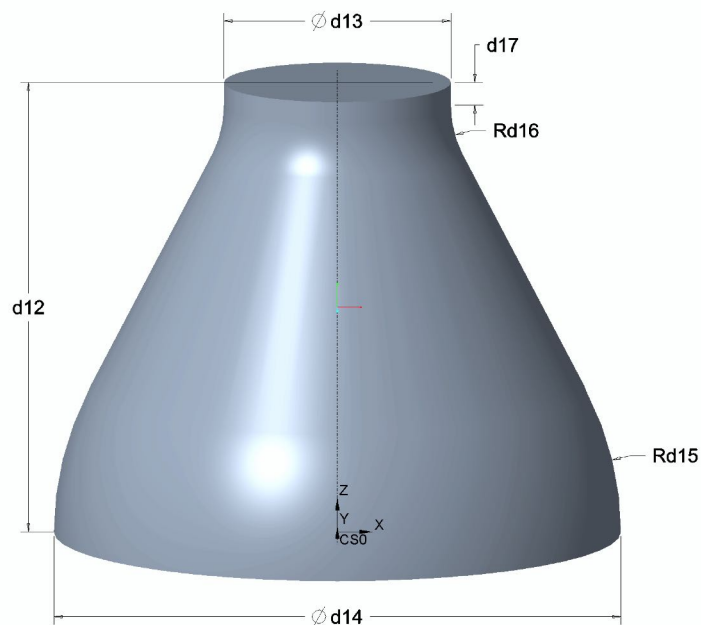
Rysunek A.5: Model parametryczny 3D szyjki naczynia szklanego przeznaczonego do szampana, wykonany jako parametryczna cecha postaciowa naczynia zdefiniowana przez użytkownika

Figure A.5: Parametric 3D model of glass container neck for champagne, made as user-defined feature



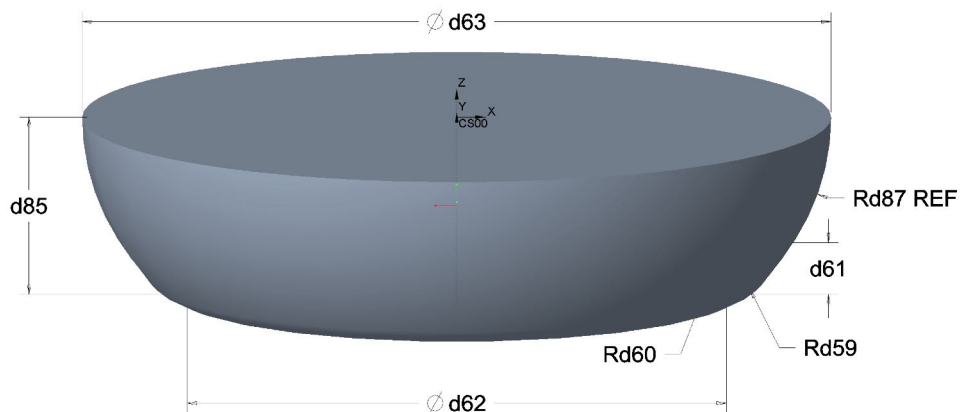
Rysunek A.6: Model parametryczny 3D szyjki naczynia szklanego przeznaczonego do alkoholi wysokoprocentowych, wykonany jako parametryczna cecha postaciowa naczynia zdefiniowana przez użytkownika

Figure A.6: Parametric 3D model of glass container neck for vodka, made as user-defined feature



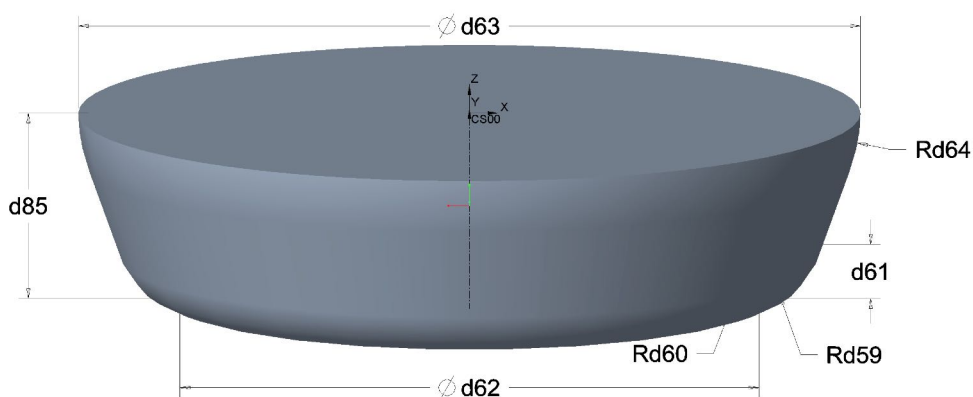
Rysunek A.7: Model parametryczny 3D szyjki naczynia szklanego przeznaczonego do produktów farmaceutycznych, wykonany jako parametryczna cecha postaciowa naczynia zdefiniowana przez użytkownika

Figure A.7: Parametric 3D model of glass container neck for pharmaceuticals, made as user-defined feature



Rysunek A.8: Model parametryczny 3D stopy z zaokrągloną powierzchnią boczną naczynia szklanego, wykonany jako parametryczna cecha postaciowa naczynia zdefiniowana przez użytkownika

Figure A.8: Parametric 3D model of glass container heel with rounded side surface, made as user-defined feature



Rysunek A.9: Model parametryczny 3D ze stożkową powierzchnią boczną naczynia szklanego, wykonany jako parametryczna cecha postaciowa naczynia zdefiniowana przez użytkownika

Figure A.9: Parametric 3D model of glass container heel with conical side surface, made as user-defined feature

Dodatek B

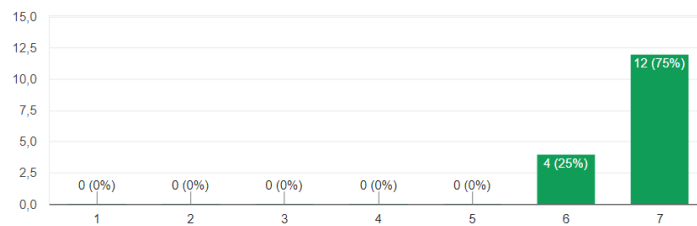
Szczegółowe wyniki badań weryfikacyjnych

W tej części pracy przedstawione zostały szczegółowe wyniki badań weryfikacyjnych systemu wspomagania projektowania naczyń szklanych.

Informacje dotyczące planu, przebiegu oraz opracowania wyników zawarte zostały w części 6.1.

Menu startowe systemu było zrozumiałe

16 odpowiedzi

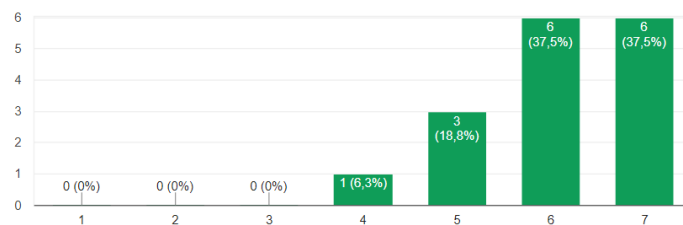


Rysunek B.1: Ocena zrozumiałości menu startowego systemu AR

Figure B.1: Evaluation of the intelligibility of the system AR start menu

Interfejs systemu był przejrzysty

16 odpowiedzi

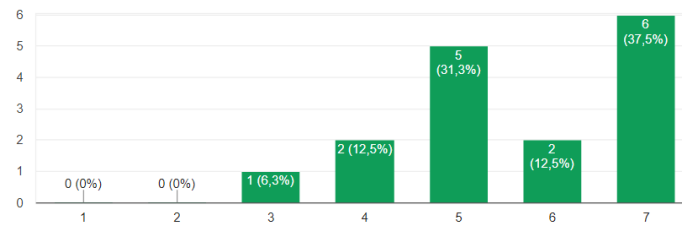


Rysunek B.2: Ocena przejrzystości interfejsu użytkownika systemu AR

Figure B.2: Evaluation of the clarity of the system AR user interface

Opis przycisków był zrozumiały

16 odpowiedzi

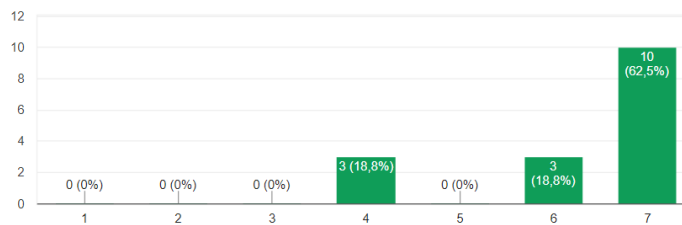


Rysunek B.3: Ocena zrozumiałości opisu przycisków systemu AR

Figure B.3: Evaluation of the intelligibility of the system AR buttons labels

System był łatwy w użyciu

16 odpowiedzi

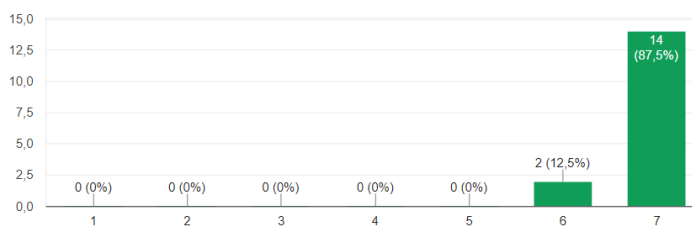


Rysunek B.4: Ocena łatwości użycia systemu AR

Figure B.4: Evaluation of the ease of use of the AR system

Szybko można nauczyć się obsługi systemu

16 odpowiedzi

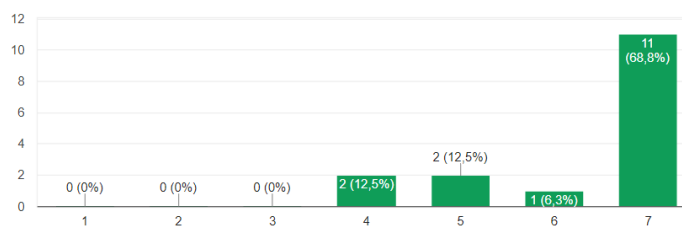


Rysunek B.5: Ocena szybkości z jaką można nauczyć się obsługi systemu AR

Figure B.5: Evaluation of the speed at which you can learn how to use the AR system

System działał szybko

16 odpowiedzi

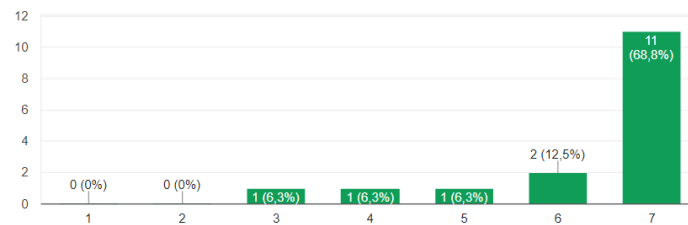


Rysunek B.6: Ocena szybkości działania systemu AR

Figure B.6: Evaluation of the speed of the AR system

System działał stabilnie

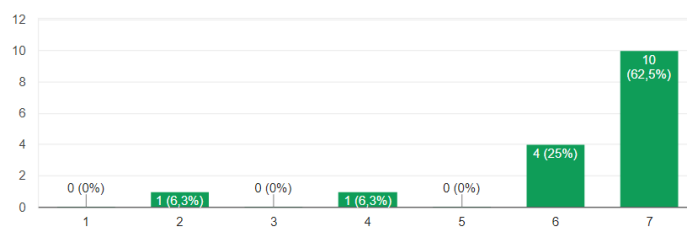
16 odpowiedzi



Rysunek B.7: Ocena stabilności działania systemu AR
 Figure B.7: Evaluation of the stability of the AR system

System nie sprawiał problemów

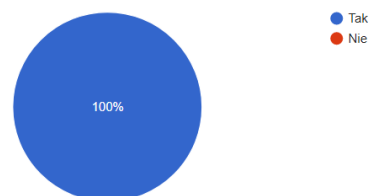
16 odpowiedzi



Rysunek B.8: Odpowiedzi na pytanie: „Czy system nie sprawiał problemów?”
 Figure B.8: Answers to the question: "Did the system cause any problems?"

System umożliwił mi utworzenie modelu 3D naczynia określonego w scenariuszu

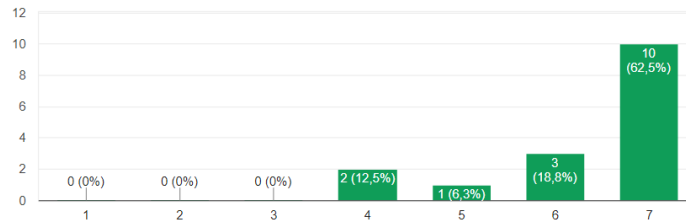
16 odpowiedzi



Rysunek B.9: Odpowiedzi uczestników odnoszące się do stwierdzenia: „System umożliwił mi utworzenie modelu 3D naczynia określonego w scenariuszu”
 Figure B.9: Participants' answers regarding the statement: "It was possible to create a 3D model of the container defined in the scenario in the system"

Realizacja wszystkich kroków scenariusza była łatwa

16 odpowiedzi

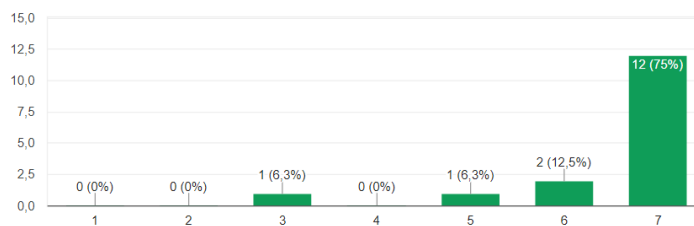


Rysunek B.10: Ocena stopnia trudności realizacji wszystkich kroków zawartych w scenariuszu w systemie AR

Figure B.10: Evaluation the level of difficulty of performing all steps defined in the scenario in the AR system

Utworzenie modelu 3D naczynia za pomocą systemu było łatwe

16 odpowiedzi

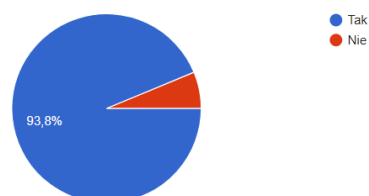


Rysunek B.11: Ocena stopnia trudności utworzenia modelu 3D naczynia z użyciem systemu AR

Figure B.11: Evaluation of the level of difficulty of creating a 3D model of a container using the AR system

System umożliwił mi edycję parametrów modelu 3D naczynia

16 odpowiedzi

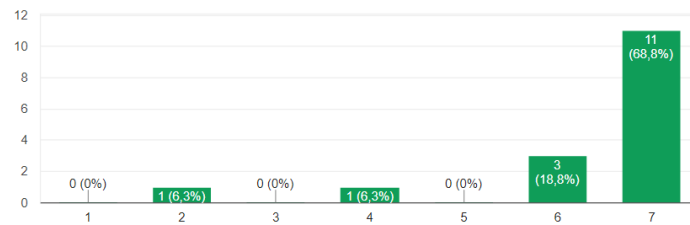


Rysunek B.12: Ocena możliwości edycji parametrów modelu 3D naczynia w systemie AR

Figure B.12: Evaluation of the possibility of editing the 3D model parameters of the container in the AR system

Menu edycji parametrów modelu 3D naczynia było zrozumiałe

16 odpowiedzi

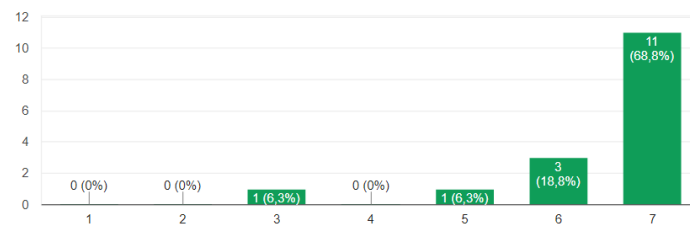


Rysunek B.13: Ocena zrozumiałości menu edycji parametrów modelu 3D w systemie AR

Figure B.13: Evaluation of the intelligibility of the editing menu of 3D model parameters in the AR system

Uważam, że system jest przydatny

16 odpowiedzi

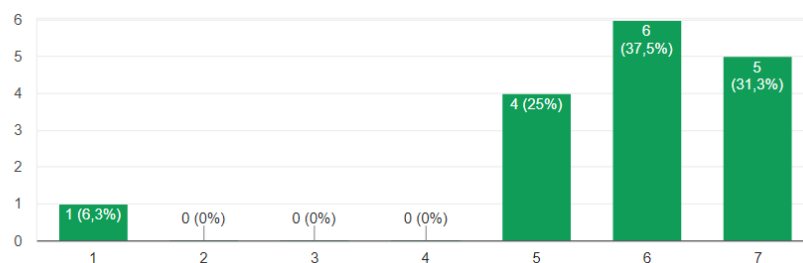


Rysunek B.14: Ocena przydatności systemu AR

Figure B.14: Evaluation of the usefulness the AR system

Gdyby to była moja branża to używałabym / używałbym systemu AR w codziennej pracy

16 odpowiedzi

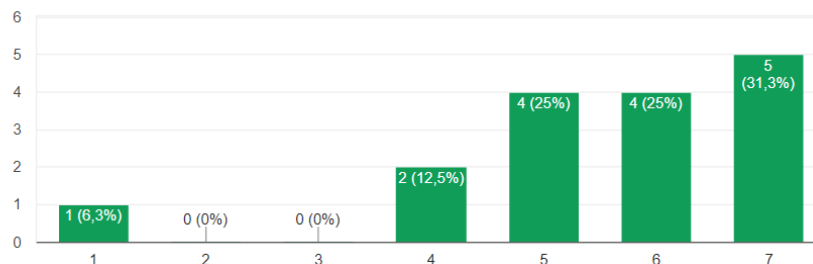


Rysunek B.15: Odpowiedzi uczestników odnoszące się do stwierdzenia: „Gdyby to była moja branża to używałabym / używałbym systemu AR w codziennej pracy”

Figure B.15: Participants' answers regarding the statement: "I would use AR system in my everyday work If it was my field"

Uważam, że tworzenie modeli 3D naczyń z użyciem systemu AR jest bardziej efektywne i ciekawsze, niż z użyciem zaawansowanego oprogramowania CAD (do komputerowego wspomaganie projektowania)

16 odpowiedzi



Rysunek B.16: Odpowiedzi uczestników odnoszące się do stwierdzenia: „Uważam, że tworzenie modeli 3D naczyń z użyciem systemu AR jest bardziej efektywne i ciekawsze, niż z użyciem zaawansowanego oprogramowania CAD (do komputerowego wspomaganie projektowania)”

Figure B.16: Participants' answers regarding the statement: In my opinion creating 3D models of containers using the AR system is more effective and more interesting than using advanced CAD software (for computer-aided design)"

Tablica B.1: Zestawienie wyników badań weryfikacyjnych systemu AR - część zawierająca pytania wstępne

Table B.1: Research results of the system AR verification tests - the part containing the initial questions

Wyniki badań weryfikacyjnych systemu AR - wstęp		
L.p.	Płeć	Biegłe posługuję się jednym lub więcej zaawansowanym systemem CAx
1	K	NIE
2	M	TAK
3	M	TAK
4	M	TAK
5	K	NIE
6	M	TAK
7	M	NIE
8	M	TAK
9	M	TAK
10	M	NIE
11	M	TAK
12	M	TAK
13	M	TAK
14	M	NIE
15	K	NIE
16	K	NIE

Tablica B.2 Zastawienie wyników badań weryfikacyjnych systemu AR - część zawierająca pytania dotyczące interfejsu użytkownika
 Table B.2 Research results of the system AR verification tests - the part containing the questions concerning user interface

Wyniki badań weryfikacyjnych systemu AR - interfejs użytkownika						
L.p.	Menu startowe systemu było zrozumiałe	Interfejs systemu był przejrzysty	Opis przycisków był zrozumiały	System był łatwy w użyciu	Szybko można nauczyć się obsługi systemu	
1	7	7	5	6	7	
2	7	7	6	7	7	
3	7	7	7	7	7	
4	7	6	5	6	7	
5	7	6	7	7	7	
6	7	7	4	4	7	
7	6	5	6	7	6	
8	7	6	7	7	7	
9	7	6	7	7	7	
10	7	7	7	7	7	
11	6	6	5	6	7	
12	6	6	4	4	6	
13	7	7	7	7	7	
14	7	4	5	7	7	
15	6	5	3	4	7	
16	7	5	5	7	7	

Tablica B.3: Zestawienie wyników badań weryfikacyjnych systemu AR - część zawierająca pytania dotyczące działania systemu

Table B.3: Research results of the system AR verification tests - the part containing the questions concerning system operation

Wyniki badań weryfikacyjnych systemu AR - działanie systemu			
L.p.	System działał szybko	System działał stabilnie	System nie sprawiał problemów
1	7	7	6
2	6	5	6
3	7	7	7
4	7	6	7
5	7	7	7
6	7	7	7
7	7	7	7
8	7	7	6
9	7	7	7
10	5	7	7
11	4	3	2
12	4	4	4
13	7	7	7
14	5	6	6
15	7	7	7
16	7	7	7

Tablica B.4 Zestawienie wyników badań weryfikacyjnych systemu AR - część zawierająca pytania dotyczące realizacji scenariusza
 Table B.4 Research results of the system AR verification tests - the part containing the questions concerning scenario realization

Wyniki badań weryfikacyjnych systemu AR - realizacja scenariusza					
L.p.	System umożliwił mi utworzenie modelu 3D naczynia określonego w scenariuszu	Realizacja wszystkich kroków scenariusza była łatwa	Utworzenie modelu 3D naczynia za pomocą systemu było łatwe	System umożliwił mi edycję parametrów modelu 3D naczynia	Menu edycji parametrów modelu 3D naczynia było zrozumiałe
1	TAK	5	6	TAK	6
2	TAK	7	7	TAK	7
3	TAK	6	6	TAK	6
4	TAK	7	7	TAK	7
5	TAK	7	7	TAK	7
6	TAK	4	5	TAK	7
7	TAK	6	7	TAK	4
8	TAK	7	7	TAK	7
9	TAK	7	7	TAK	7
10	TAK	7	7	TAK	7
11	TAK	7	7	TAK	7
12	TAK	4	3	NIE	2
13	TAK	7	7	TAK	7
14	TAK	7	7	TAK	7
15	TAK	6	7	TAK	6
16	TAK	7	7	TAK	7

Tablica B.5 Zestawienie wyników badań weryfikacyjnych systemu AR - część zawierająca pytania podsumowujące
 Table B.5 Research results of the system AR verification tests - the part containing the summary questions

Wyniki badań weryfikacyjnych systemu AR - podsumowanie			
L.p.	Uważam, że system jest przydatny	Gdyby to była moja branża to używałabym / używałbym systemu AR w codziennej pracy	Uważam, że tworzenie modeli 3D naczyń z użyciem systemu AR jest bardziej efektywne i ciekawsze, niż z użyciem zaawansowanego oprogramowania CAD (do komputerowego wspomaganie projektowania)
1	6	5	5
2	7	6	5
3	6	5	4
4	7	6	7
5	7	6	7
6	7	6	5
7	6	5	5
8	7	6	6
9	7	7	7
10	7	7	4
11	5	6	6
12	3	1	1
13	7	7	7
14	7	6	7
15	7	7	6
16	7	5	6

Dodatek C

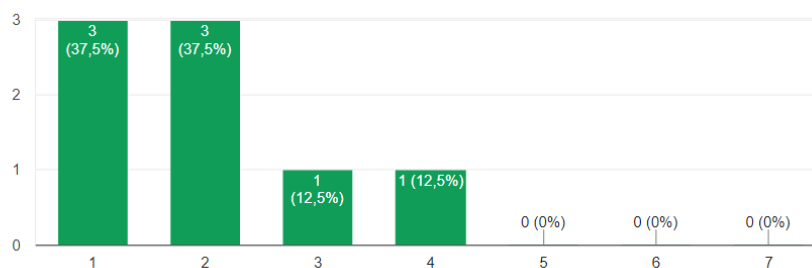
Szczegółowe wyniki badań oceny przydatności metody wspomaganie projektowania naczyń szklanych

W tej części pracy przedstawione zostały szczegółowe wyniki badań oceny przydatności metody wspomaganie projektowania naczyń szklanych.

Informacje dotyczące planu, przebiegu oraz opracowania wyników zawarte zostały w części 6.2.

Utworzenie modelu 3D naczynia w jak największym stopniu zbliżonego do dostarczonego naczynia było trudne.

8 odpowiedzi

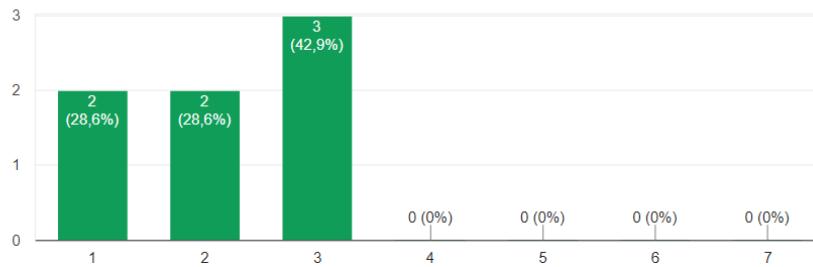


Rysunek C.1: Ocena stopnia trudności utworzenia w systemie AR modelu 3D naczynia w jak największym stopniu zbliżonego do fizycznego naczynia

Figure C.1: Evaluation of the difficulty of creating a 3D model of the container in the AR system as close as possible to the physical container

Utworzenie modelu 3D naczynia w jak największym stopniu zbliżonego do dostarczonego naczynia było czasochłonne.

7 odpowiedzi

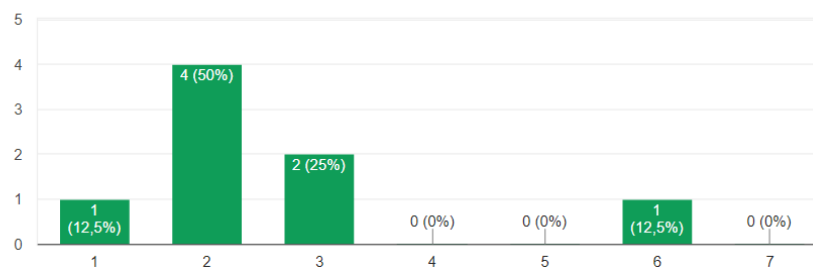


Rysunek C.2: Ocena czasochłonności procesu tworzenia w systemie AR modelu 3D naczynia w jak największym stopniu zbliżonego do fizycznego naczynia

Figure C.2: Evaluation of the degree of time-consuming of the process of creating a 3D model of the container in the AR system as close as possible to the physical container

Utworzenie modelu 3D naczynia w jak największym stopniu zbliżonego do dostarczonego naczynia wymagało wykonania bardzo wielu operacji w systemie.

8 odpowiedzi

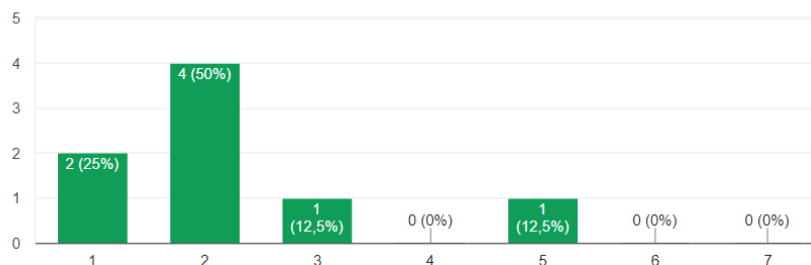


Rysunek C.3: Ocena pracochłonności procesu tworzenia w systemie AR modelu 3D naczynia w jak największym stopniu zbliżonego do fizycznego naczynia

Figure C.3: Evaluation of labor consumption of the process of creating a 3D model of the container in the AR system as close as possible to the physical container

Nauczenie się postępowania według tej metody projektowania początkowo sprawiło mi wiele problemów.

8 odpowiedzi

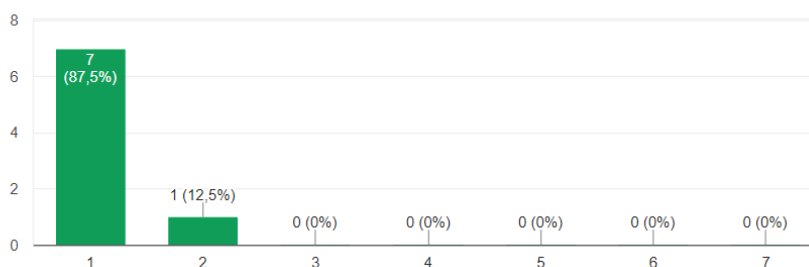


Rysunek C.4: Ocena stopnia trudności nauczania się postępowania według opracowanej metody

Figure C.4: Evaluation of the difficulty of learning to perform activities according to the developed method

Działania związane z wyborem właściwego koloru modelu 3D naczynia były trudne do wykonania.

8 odpowiedzi

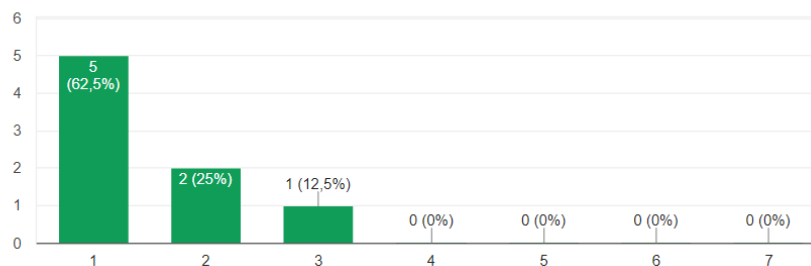


Rysunek C.5: Ocena stopnia trudności działania związanego z wyborem właściwego koloru modelu 3D

Figure C.5: Evaluation of the degree of difficulty of action related to the choice of the right color of the 3D model

Działania związane z wyborem właściwych części modelu 3D naczynia (główki, szyjki, korpusu oraz stopy) były trudne do wykonania.

8 odpowiedzi

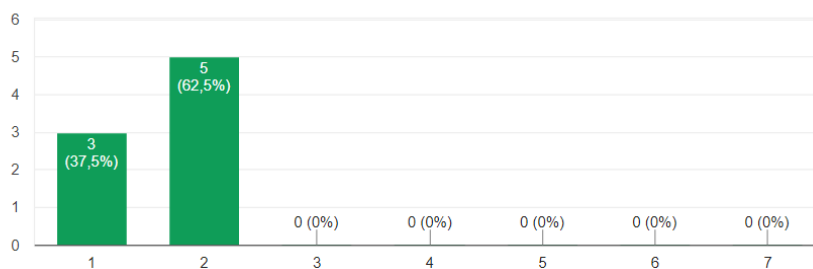


Rysunek C.6: Ocena stopnia trudności działania związanego z wyborem właściwych części modelu 3D naczynia (główki, szyjki oraz stopy)

Figure C.6: Evaluation of the degree of difficulty of action related to the choice of the right parts of 3D model of a container (finish, neck and heel)

Utworzenie wstępnego modelu 3D naczynia było trudne do wykonania.

8 odpowiedzi

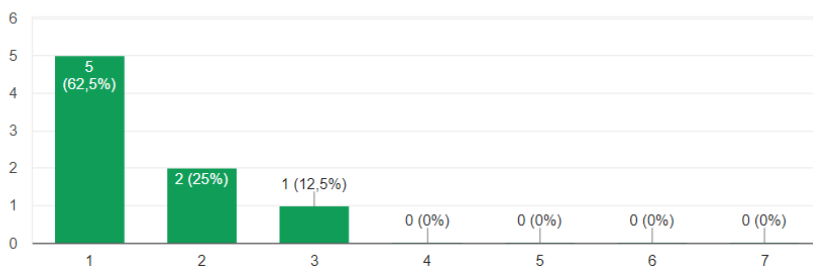


Rysunek C.7: Ocena stopnia trudności działania związanego z utworzeniem wstępnego modelu 3D naczynia

Figure C.7: Evaluation of the degree of difficulty of action related to the creating preliminary 3D model of a container

Edycja parametrów wymiarowych modelu 3D naczynia w celu uzyskania kształtu fizycznej butelki była trudna do wykonania.

8 odpowiedzi

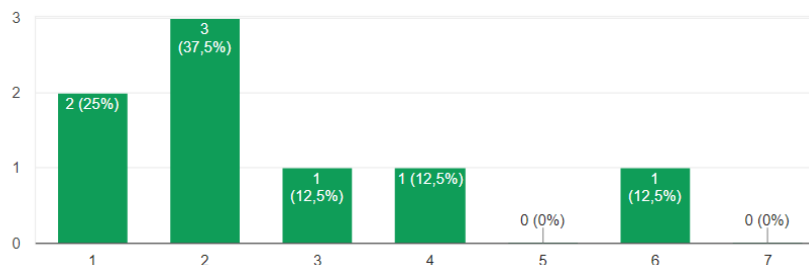


Rysunek C.8: Ocena stopnia trudności działania związanego z edycją parametrów wymiarowych modelu 3D naczynia w celu uzyskania kształtu fizycznej butelki

Figure C.8: Evaluation of the degree of difficulty of action related to the editing of dimensional parameters of 3D model of a bottle in order to obtain the shape of the physical bottle

Uzyskanie właściwej pojemności modelu 3D naczynia odpowiadającej pojemności fizycznego naczynia było trudne do wykonania.

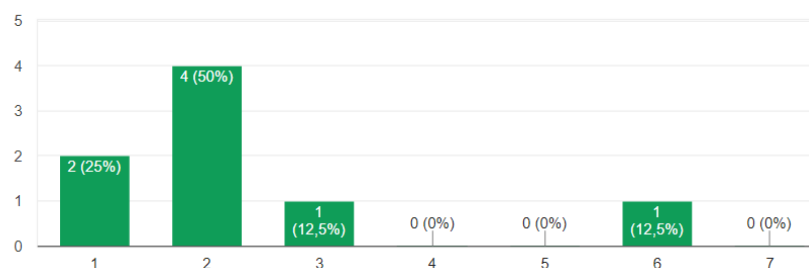
8 odpowiedzi



Rysunek C.9: Ocena stopnia trudności działania związanego z uzyskaniem właściwej pojemności modelu 3D naczynia odpowiadającej pojemności fizycznej butelki
 Figure C.9: Evaluation of the degree of difficulty of action related to the obtaining right volume of 3D model of a bottle in order to obtain corresponding to the capacity of the physical bottle

Musiałam / musiałem prosić o wsparcie w większości przypadków podczas używania tego oprogramowania.

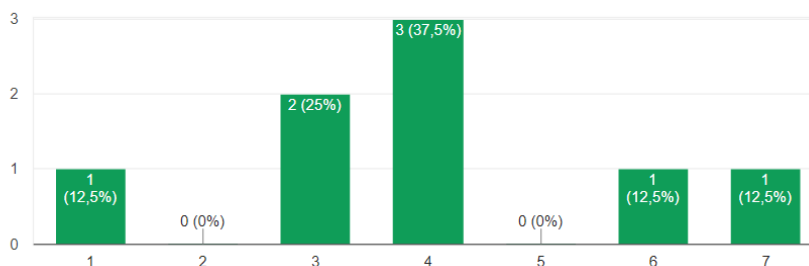
8 odpowiedzi



Rysunek C.10: Ocena konieczności korzystania ze wsparcia w trakcie wykonywania działań w systemie AR
 Figure C.10: Evaluation of the need to use help when using the AR system

Praca z oprogramowaniem opartym na tej metodzie była umysłowo stymulująca.

8 odpowiedzi



Rysunek C.11: Odpowiedzi użytkowników dotyczące tego, czy praca z oprogramowaniem opartym na opracowanej metodzie była umysłowo stymulująca
 Figure C.11: Users' answers regarding whether working with software based on the developed method was mentally stimulating

Tablica C.1: Zestawienie wyników badań oceny przydatności metody wspomaganie projektowania naczyń szklanych - część zawierająca pytania wstępne
 Table C.1: Results of the research of usability tests of the support method of designing glass containers - the part containing the initial questions

Wyniki badań oceny przydatności metody wspomaganie projektowania naczyń szklanych - wstęp	
L.p.	Biegłe posługuję się jednym lub więcej zaawansowanym systemem CAx
1	NIE
2	TAK
3	TAK
4	TAK
5	TAK
6	TAK
7	TAK
8	NIE
L.p.	Jak byś oceniła / ocenił swoje umiejętności oraz wiedzę związaną z pracą w programach?
1	Mam problem z używaniem większości programów
2	Bardzo duże doświadczenie i wiedza techniczna
3	Radzę sobie z większością programów
4	Bardzo duże doświadczenie i wiedza techniczna
5	Radzę sobie z większością programów
6	Radzę sobie z większością programów
7	Radzę sobie z większością programów
8	Bardzo duże doświadczenie, ale brak wiedzy technicznej

Tablica C.2 Zestawienie wyników badań weryfikacyjnych systemu AR - część zawierająca pytania dotyczące interfejsu użytkownika
 Table C.2 Research results of the system AR verification tests - the part containing the questions concerning user interface

Wyniki badań oceny przydatności metody wspomaganie projektowania naczyń szklanych - realizacja głównego celu badania											
L.p.	Utworzenie modelu 3D naczynia w jak największym stopniu zbliżonego do dostarczonego naczynia było trudne		Utworzenie modelu 3D naczynia w jak największym stopniu zbliżonego do dostarczonego naczynia było czasochłonne		Utworzenie modelu 3D naczynia w jak zbliżonym stopniu dostarczonego naczynia wymagało wykonania bardzo wielu operacji w systemie		Nauczenie się postępowania według tej metody projektowania początkowo sprawiło mi wiele problemów				
	Przed	Po	Przed	Po	Przed	Po	Przed	Po			
-											
1	4	2	3	3	3	6	2	2			
2	4	4	3	3	4	3	2	2			
3	3	1	3	2	5	2	6	1			
4	4	1	5	2	5	3	4	2			
5	6	2	3	3	2	2	4	3			
6	2	2	1	1	1	1	2	2			
7	3	1	1	1	2	2	2	1			
8	6	3	6	3	7	2	4	5			

Tablica C.3 Zestawienie wyników badań weryfikacyjnych systemu AR - część zawierająca pytania dotyczące działań projektowych
 Table C.3 Research results of the system AR verification tests - the part containing the questions concerning design activities

L.p.		Działania związane z wyborem właściwego koloru modelu 3D naczynia były trudne do wykonania		Działania związane z wyborem właściwych części modelu 3D naczynia (główki, szyjki, korpusu oraz stopy) były trudne do wykonania		Utworzenie wstępnego modelu 3D naczynia było trudne do wykonania		Edycja parametrów wymiarowych modelu 3D naczynia w celu uzyskania kształtu fizycznej butelki była trudna do wykonania		Uzyskanie właściwej pojemności modelu 3D naczynia odpowiadającej pojemności fizycznego naczynia było trudne do wykonania	
		Przed	Po	Przed	Po	Przed	Po	Przed	Po	Przed	Po
-											
1	2	1	3	1	3	1	3	2	3	3	4
2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	3	3
3	1	1	5	1	5	2	2	5	1	6	1
4	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2
5	4	1	3	1	3	1	1	2	2	3	2
6	1	1	2	1	2	1	1	1	1	3	2
7	1	1	3	1	3	2	2	2	1	4	2
8	2	2	3	3	3	2	2	1	2	2	6

Tablica C.4 Zestawienie wyników badań weryfikacyjnych systemu AR - część zawierająca pytania dotyczące podsumowania
 Table C.4 Research results of the system AR verification tests - the part containing the questions concerning summary

Wyniki badań oceny przydatności metody wspomaganie projektowania naczyń szklanych - podsumowanie						
L.p.	Musiałam / musiałam prosić o wsparcie w większości przypadków podczas używania tego oprogramowania		Praca z oprogramowaniem opartym na tej metodzie była umysłowo stymulująca		Jak ważny dla Ciebie jest rodzaj oprogramowania, które oceniałeś / oceniałeś?	
	Przed	Po	Przed	Po	Przed	Po
1	3	6	4	4	Niezbyt ważny	
2	2	1	4	3	Niezbyt ważny	
3	6	2	5	1	Ważny	
4	2	2	4	1	Ważny	
5	4	3	4	3	Niezbyt ważny	
6	2	2	5	6	W ogóle nieważny	
7	2	1	6	7	W ogóle nieważny	
8	6	2	7	4	Niezbyt ważny	

Bibliografia

- Abboud, R. (2014). *Architecture in an Age of Augmented Reality: Opportunities and Obstacles for Mobile AR in Design, Construction, and Post-Completion*. NAWIC International Women's Day Scholarship Recipient.
- Agbodan, D., D. Marcheix, and G. Pierra (2000). Persistent naming for parametric models. *Computer-Aided Design*.
- Albert and Dixon (2003). Is this what you expected? the use of expectation measures in usability testing.
- Albert, W. and T. Tullis (2013). *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics*. Interactive Technologies. Elsevier Science.
- Allen J., C. J. (2013). *Projektowanie witryn internetowych User eXperience*. Helion.
- Amin, D. and S. Govilkar (2015). Comparative study of augmented reality sdk's. *International Journal on Computational Science & Applications* 5(1), 11–26.
- Andaluz, V. H., J. S. Sánchez, J. I. Chamba, P. P. Romero, F. A. Chicaiza, J. Varela, W. X. Quevedo, C. Gallardo, and L. F. Cepeda (2016). Unity3d virtual animation of robots with coupled and uncoupled mechanism. In *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics*, pp. 89–101. Springer.
- Armstrong, Fogarty, D. D. (2005). Validation of a computer user satisfaction questionnaire to measure success in small business. *Journal of Research and Practice in Information Technology* 37(1), 27–42.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and virtual environments* 6(4), 355–385.
- Bae, H., M. Golparvar-Fard, and J. White (2013). High-precision vision-based mobile augmented reality system for context-aware architectural, engineering, construction and facility management (aec/fm) applications. *Visualization in Engineering* 1(1), 3.
- Barfield, W. (2015). *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality, Second Edition*. CRC Press.
- Barreau, J.-B., R. Gagne, Y. Bernard, G. Le Cloirec, and V. Gouranton (2014). Virtual reality tools for the west digital conservatory of archaeological heritage. In *Proceedings of the 2014 Virtual Reality International Conference*, pp. 4. ACM.

- Barsanti, S. G., G. Caruso, L. Micoli, M. C. Rodriguez, and G. Guidi (2015). 3d visualization of cultural heritage artefacts with virtual reality devices. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40(5), 165.
- Bedse, U. A. (2016). Developing a gui based design software in vb environment to integrate with creo for design and modeling of ci engine. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*.
- Bedse, U. A. and L. P. Raut (2016). Design of a graphical user interface for design automation. *International Journal of Research in Engineering and Technology*.
- Berger, M. and V. Cristie (2015). Cfd post-processing in unity3d. *Procedia Computer Science* 51, 2913–2922.
- Caarls, J., P. Jonker, Y. Kolstee, J. Rotteveel, and W. van Eck (2009). Augmented reality for art, design and cultural heritage—system design and evaluation. *EURASIP Journal on Image and Video Processing* 2009(1), 716160.
- Capoyleas, V., X. Chen, and C. M. Hoffmann (1996). Generic naming in generative, constraint-based design. *Computer-Aided Design* 28(1), 17–26.
- Chen, C.-C. (2016). Multimedia virtualized environment for shoulder pain rehabilitation. *Journal of physical therapy science* 28(4), 1349–1354.
- Chen, X. (1995). *Representation, evaluation and editing of feature-based and constraint-based design*. Ph. D. thesis, Purdue University.
- Chen, X. and C. M. Hoffmann (1995). On editability of feature-based design. *Computer-aided design* 27(12), 905–914.
- Chlebus, E. (2000). *Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji*. Wydawn. Naukowo-Techniczne.
- Cichocki, P., P. J. (2001). *Metodyka przechowywania wiedzy projektowej w budowie maszyn*. Instytut Podstaw Budowy Maszyn Politechniki Warszawskiej.
- Coles, R. and M. Kirwan (2011). *Food and Beverage Packaging Technology*. Wiley.
- Cox, W. E. (1967). Product life cycles as marketing models. *The Journal of Business* 40(4), 375–384.
- Crnkovic, I., U. Asklund, and A. Dahlqvist (2003). *Implementing and Integrating Product Data Management and Software Configuration Management*. Artech House computer library. Artech House.
- Ćuković, S., M. Gattullo, F. Pankratz, G. Devedžić, E. Carrabba, and K. Baizid (2016). Marker based vs. natural feature tracking augmented reality visualization of the 3d foot phantom. *Electrical and Bio-medical Engineering, Clean Energy and Green Computing* 1(1), 8.
- Czubała, A. (2012). *Podstawy marketingu*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Czyżewski, T. (2010). Automation of computational tasks in cad systems. *Czasopismo Techniczne. Mechanika* 107, 17–23.

- Dejnaka, A. (2002). *CRM: zarządzanie kontaktami z klientami*. Helion - Onepress.
- Dietrych, J. (1985). *System i konstrukcja*. Wydawn. Nauk.-Techn.
- Dietrych, J., Kocańda i S. and Korewa, W. (1971). *Podstawy konstrukcji maszyn Cz. III*. WNT, Warszawa.
- Dong, S. and V. R. Kamat (2013). Smart: scalable and modular augmented reality template for rapid development of engineering visualization applications. *Visualization in Engineering* 1(1), 1–17.
- Eigner, M. and A. Fehrenz (2011). Managing the product configuration throughout the lifecycle. *Product Lifecycle Management. Virtual Product Lifecycles for Green Products and Services*, 11–13.
- Emblem, A. (2012). *Packaging Technology: Fundamentals, Materials and Processes*. Woodhead Publishing in Materials. Elsevier Science.
- Empler, T., G. Murru, and M. Fratarcangeli (2013). Practical augmented visualization on handheld devices for cultural heritage. In *Computer Graphics, Visualization and Computer Vision*. Václav Skala-UNION Agency.
- Fanfarelli, J. and R. McDaniel (2016, Maj). Using platform adventure mechanics for gamification research.
- Farin, G., J. Hoschek, and M. Kim (2002). *Handbook of Computer Aided Geometric Design*. Elsevier.
- Felfernig, A., L. Hotz, C. Bagley, and J. Tiihonen (2014). *Knowledge-Based Configuration: From Research to Business Cases*. Elsevier Science.
- Forza, C. and F. Salvador (2006). *Product Information Management for Mass Customization: Connecting Customer, Front-office and Back-office for Fast and Efficient Customization*. Palgrave Macmillan UK.
- Garbarski, L. (2011). *Marketing*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Gil, M., J. Pokojski, and K. Szustakiewicz (2011). Extended kbe in mechanical engineering: Discussion of solutions. In *Improving Complex Systems Today*, pp. 275–283. Springer London.
- Gollinder-Tarajko, M. i Zaręba, K. (2010). Projektowanie rozwoju produktu z wykorzystaniem technik komputerowego wspomaganie.
- Grabowski, A. (2012). Wykorzystanie współczesnych technik rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej do szkolenia pracowników. *Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka*, 18–21.
- Gregory, J. (2017). *Game Engine Architecture, Second Edition*. CRC Press.
- Grubert, J. and R. Grasset (2013). *Augmented Reality for Android Application Development*. Packt Publishing.
- Hales, C. (1999). *Opakowanie jako instrument marketingu*. Marketing bez Tajemnic. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.

- Hirz, M., W. Dietrich, A. Gfrerrer, and J. Lang (2013). *Integrated Computer-Aided Design in Automotive Development: Development Processes, Geometric Fundamentals, Methods of CAD, Knowledge-Based Engineering Data Management*. SpringerLink : Bücher. Springer Berlin Heidelberg.
- Hoffmann, C. M. Constraint-based cad.
- Horachek, D. (2014). *Creating E-Learning Games with Unity*. Community experience distilled. Packt Publishing.
- Hossain, L. (2001). *Enterprise Resource Planning: Global Opportunities and Challenges: Global Opportunities and Challenges*. IRM Press.
- <http://clmsummit.com/> (Dostęp 10.04.2017). Witryna clmsummit.
- <http://www.configit.com/> (Dostęp 10.04.2017). Witryna configit.
- Immonen, A. and A. Saaksvuori (2013). *Product Lifecycle Management*. Springer Berlin Heidelberg.
- Januszka, M. (2010). Zastosowanie technik poszerzonej rzeczywistości w cyfrowym prototypowaniu. *Mechanik 83*(8-9), 634–637.
- Januszka, M. (2012). *Metoda wspomaganie procesu projektowania i konstruowania z zastosowaniem poszerzonej rzeczywistości*. Ph. D. thesis.
- Januszka, M. (2013a). Oparta na wiedzy metoda wspomaganie procesu opracowania środka technicznego z zastosowaniem poszerzonej rzeczywistości.
- Januszka, M. (2013b). Projektowanie ergonomiczne z zastosowaniem technik poszerzonej rzeczywistości. *Mechanik 86*(2CD).
- Januszka, M. and R. Pilch (2015). Digitalizacja i wizualizacja 3d produktów z systemem poszerzonej rzeczywistości. *Mechanik* (2).
- Joan-Arinyo, R. (2009). Basics on geometric constraint solving. *Proceedings of 13th Encuentros de Geometría Computacional (EGC09), Zaragoza (Spain)*.
- Khalifa, N. H., Q. V. Nguyen, S. Simoff, and D. Catchpoole (2015). A visualization system for analyzing biomedical and genomic data sets using unity3d platform. In *Proc. 8th Australasian Workshop on Health Informatics and Knowledge Management*, pp. 47–53.
- Konopacki, J. (2014). Rozszerzona rzeczywistość-jako narzędzie wspomagające procesy analityczno-decyzyjne w architekturze i planowaniu przestrzennym. *Przestrzeń i Forma* (21), 89–108.
- Kripac, J. (1997). A mechanism for persistently naming topological entities in history-based parametric solid models. *Computer-Aided Design 29*(2), 113–122.
- Kumar, S., S. Devi, and C. Puranam (2015). Augmented reality in enhancing qualitative education. *International Journal of Computer Applications 132*(14), 41–45.

- Lech, P. (2003). *Zintegrowane systemy zarządzania ERP/ERP II: wykorzystanie w biznesie, wdrażanie*. Difin.
- Lee, Y. and J. Choi (2014). Tideland animal ar: Superimposing 3d animal models to user defined targets for augmented reality game. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering* 9(4), 343–348.
- Levitt, T. (1965). Exploit the product life cycle. *HARVARD BUSINESS REVIEW* 43, 81–94.
- Maintz, J. A. and M. A. Viergever (1998). A survey of medical image registration. *Medical image analysis* 2(1), 1–36.
- Mann, S. (2002). *Intelligent image processing*. Adaptive and learning systems for signal processing, communications, and control. IEEE.
- Migram, p. H. T. (1994). A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telem manipulator and Telepresence Technologies 2351*, 282–292.
- Milgram, P., H. Takemura, A. Utsumi, and F. Kishino (1995). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In *Photonics for industrial applications*, pp. 282–292. International Society for Optics and Photonics.
- MSDN (2017, Maj).
- Muhammad, A., N. I. and M. Sunar (2016). Reflective prism display using pepper’s ghost technique software toolkit plugin for unity 3d. *Jurnal Teknologi* 78(12-3), 189–196.
- Muzalewska, M., B. Szczodry, D. Samolczyk-Wanyura, and M. Wyleżół (2014). Komputerowe wspomaganie i technologie generatywne w planowaniu zabiegów rekonstrukcji twarzowej części czaszki. *Modelowanie Inżynierskie* 21.
- Oleszek, S. (2014). Ewolucja komputerowego wspomaganie w procesie projektowo-konstrukcyjnym opakowań szklanych. *Modelowanie Inżynierskie* 22(53), 111–116.
- Oleszek, S. (2015a). Automatyzacja procesu projektowo-konstrukcyjnego opakowania szklanego realizowana poprzez integrację creo parametric z ms excel. *Zeszyt Specjalny. Inżynier XXI Wieku. V Międzynarodowa Konferencja Studentów oraz Doktorantów. Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej*, 295–306.
- Oleszek, S. (2015b). Parametryzacja wirtualnych modeli opakowań szklanych. *Mechanik* 88(5-6), 474–476.
- Oleszek, S. (2015c). Proces modelowania geometrycznego butelki grawerowanej o złożonej postaci. *Mechanik* 88(7CD), 605–612.
- Oleszek, S. (2015d). Proces modelowania geometrycznego opakowania w creo parametric. *Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie* 3(90), 44–51.
- Ong, S. and A. Nee (2013). *Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing*. Springer London.

- O'Regan, G. (2016). *Introduction to the History of Computing: A Computing History Primer*. Undergraduate Topics in Computer Science. Springer International Publishing.
- Osland, G. E. (1991). Origins and development of the product life cycle concept. In *Proceedings of the Fifth Conference on Historical Research in Marketing and Marketing Thought*, pp. 68–84.
- Pahl, G., W. Beitz, J. Feldhusen, and K. Grote (1984). *Engineering Design: A Systematic Approach*. Solid mechanics and its applications. Springer London.
- Poh, Y., A. Y. Nee, K. Youcef-Toumi, and S. Ong (2005). Facilitating mechanical design with augmented reality. *Innovation in Manufacturing Systems and Technology*.
- Pokojski, J. (2013). Extended kbe: Scenario of an application development. In *Concurrent Engineering Approaches for Sustainable Product Development in a Multi-Disciplinary Environment*, pp. 291–302. Springer London.
- PTC (2015). Ptc creo® parametric 3.0 vb api user's guide datecode m070.
- PTC (2017, Maj).
- Purdum, J. (2008). *Visual Basic .NET. Alchemia programowania*. Helion.
- Raghothama, S. and V. Shapiro (1998). Boundary representation deformation in parametric solid modeling. *ACM Transactions on Graphics (TOG) 17(4)*, 259–286.
- Renukdas, P., R. Ghundiya, H. Gadhil, and V. Pathare (2013). Markerless augmented reality android app for interior decoration. *International Journal of Engineering 2(4)*.
- Robertson, G. (2016). *Food Packaging: Principles and Practice, Third Edition*. CRC Press.
- Saaksvuori, A. and A. Immonen (2008). *Product Lifecycle Management*. Springer Berlin Heidelberg.
- Sabareeshan, K. and K. Willmert (2011). Integration of pro/engineer with visual c++ using pro/toolkit for design automation. *Advanced Modeling and Optimization 13(1)*, 67–76.
- Salamak, M., M. Januszka, and T. Płaszczyk (2015). Bim i rzeczywistość poszerzona w zarządzaniu obiektami mostowymi. *VII Ogólnopolska Konferencja Mostowców–Konstrukcja i Wyposażenie Mostów, Wisła*, 28–29.
- Seddon and Kiew (1996). A partial test and development of delone and maclean's model of is success. *Australasian Journal of Information Systems 4(1)*.
- Sepia (2017, Maj).
- Seybold, P. B. (2014). *Outside innovation*. HarperCollins e-books.
- Shah, J. and M. Mäntylä (1995). *Parametric and Feature-Based CAD/CAM: Concepts, Techniques, and Applications*. A Wiley-Interscience publication. Wiley.

- Sheldon, B., B. Hollis, R. Windsor, D. McCarter, G. Hillar, and T. Herman (2012). *Professional Visual Basic 2012 and .NET 4.5 Programming*. Professional Visual Basic 2012 and .NET 4.5 Programming. Wiley.
- Shen, W., D. Norrie, and J. Barthes (2003). *Multi-Agent Systems for Concurrent Intelligent Design and Manufacturing*. Taylor & Francis.
- Shin, T. (2013). Augmented reality and design process: the new role of augmented reality in design process. *IDS A EDUCATION SYMPOSIUM*.
- Sienicki, K., K. Motyl, and D. Karczmarz (2015). Simulator proceduralno-diagnostyczny pżr w technologii wirtualnej z elementami technologii poszerzonej rzeczywistości. *Mechanik*, 767–778.
- Skarka, W. (2005). *Metodologia tworzenia i wykorzystywania baz wiedzy w procesie projektowania: zastosowanie języków UML i XML do projektowania baz wiedzy*. Monografia - Politechnika Śląska. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- Skarka, W. (2007a). *Metodologia procesu projektowo-konstrukcyjnego opartego na wiedzy*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- Skarka, W. (2007b). Modelowanie bazy wiedzy dla budowy modeli autogenerujących w systemie catia z zastosowaniem języka uml. *Modelowanie Inżynierskie* (33), 145–152.
- Thai, T. (1999). *Learning DCOM*. Learning Series. O'Reilly Media.
- Thallmaier, S. R. (2014). *Customer co-design: A study in the mass customization industry*. Springer.
- Toomey, J. (2013). *MRP II: Planning for Manufacturing Excellence*. Chapman & Hall Materials Management/Logistics Series. Springer US.
- Trautner, T. (2015). Visualizing archaeological excavations based on unity3d. In *Proceedings of Central European Seminar on Computer Graphics*. Citeseer.
- Unity (2017, Maj).
- UXDesign (2017, March).
- Vuforia (2017, Maj).
- Wang, X. and P. S. Dunston (2013). Tangible mixed reality for remote design review: a study understanding user perception and acceptance. *Visualization in Engineering* 1(1), 8.
- Watts, F. B. (2009). *Configuration Management Metrics*. William Andrew.
- Wight, O. (1995). *Manufacturing Resource Planning: MRP II: Unlocking America's Productivity Potential*. Oliver Wight. Wiley.
- Wiley, B. and J. P. Schulze (2015). archar: an archaeological augmented reality experience. In *SPIE/IS&T Electronic Imaging*, pp. 939203–939203. International Society for Optics and Photonics.
- Woodbury, R. (2010). *Elements of Parametric Design*. Routledge.

- Wróbel, K. (2013). Stan obecny i perspektywy rozwoju systemów rzeczywistości rozszerzonej w zastosowaniach przemysłowych. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni* (82), 129–136.
- www.cetie.org (Dostęp 15.04.2017). Witryna cetie.
- Wyleżoł, M. (2003). Automatyzacja tworzenia złożonych modeli parametrycznych. *Przegląd Mechaniczny*, 37–41.
- Wyleżoł, M. (2005a). Weryfikacja postaci geometrycznych modeli bryłowych z zastosowaniem elementów wiedzy. *Zeszyty Naukowe Katedry Mechaniki Stosowanej. Politechnika Śląska* 29.
- Wyleżoł, M. (2005b). Zastosowanie modeli szkieletowych w modelowaniu elementów maszyn. *Mechanik* 78.
- Wyleżoł, M., B. Ostrowska, E. Wróbel, M. Muzalewska, M. Grabowski, D. Wyszynski, J. Zubrzycki, P. Przech, T. Klepka, and P. Lubelska (2016). *Inżynieria biomedyczna: metody przyrostowe w technice medycznej*. Monografie - Politechnika Lubelska. Politechnika Lubelska.
- Zychła, W. (2003). *Programowanie pod Windows*. Instytut Informatyki Uniwersytetu Wrocławskiego.

Metoda wspomagania projektowania naczyń szklanych z zastosowaniem konfiguratora w środowisku poszerzonej rzeczywistości

Streszczenie

Praca stanowi opis autorskiego podejścia do rozwiązania problemu komputerowego wspomagania projektowania i konstruowania naczyń szklanych.

Mając na uwadze obecny stan wiedzy, sformułowano problem badawczy oraz określono cel rozprawy, którym było opracowanie nowej skutecznej metody wspomagania procesu projektowania naczyń szklanych z udziałem użytkownika, który nie jest ani projektantem ani konstruktorem, a także opracowanie systemu z zastosowaniem konfiguratora oraz opartego na technikach „poszerzonej rzeczywistości” (ang. *augmented reality*), który umożliwiłby praktyczną realizację tej metody.

Nowoczesne techniki poszerzonej rzeczywistości w czasie rzeczywistym oraz w środowisku trójwymiarowym umożliwiają łączenie świata rzeczywistego ze światem wirtualnym, dzięki czemu otwierają zupełnie nowe możliwości prowadzenia działań projektowych na tle świata rzeczywistego, a więc na przykład w otoczeniu istniejących produktów lub w docelowym kontekście, w jakim projektowany produkt będzie przedstawiany po wyprodukowaniu (np. na witrynie sklepowej).

Techniki stosowane w konfiguratorach produktowych umożliwiają automatyzowanie pewnych operacji, poprzez utworzenie zestawu reguł określających sposoby, według których różne komponenty mogą być ze sobą łączone. Oznacza to więc, że stosując konfigurator istnieje możliwość dynamicznego adaptowania elementów z istniejącego zasobu do wymagań szerokiej grupy odbiorców, bez potrzeby wykonywania działań projektowych.

W związku z powyższym sformułowano tezę, że możliwe jest opracowanie mobilnego konfiguratora modeli naczyń szklanych z zastosowaniem programowej integracji metod poszerzonej rzeczywistości oraz parametrycznych systemów klasy CAx.

Sformułowano także drugą tezę, że zastosowanie konfiguratora zaimplementowanego na urządzeniu mobilnym wpływa na zwiększenie efektywności modelowania dzięki zastosowaniu wizualizacji modelu naczynia na tle jego otoczenia naturalnego.

Sformułowano również trzecią tezę, że dzięki specjalnie opracowanemu interfejsowi konfiguratora możliwy jest aktywny udział użytkownika zamawiającego nowy wzór naczynia w procesie jego modelowania.

W celu wykazania słuszności tezy opracowano system, w którym zaimplementowane zostały opracowane metody.

Wyniki otrzymane podczas procesu walidacji potwierdzają słuszność sformułowanych w pracy tezy.

Słowa kluczowe: komputerowe wspomaganie projektowania, konfigurator produktowy, poszerzona rzeczywistość, system klasy CAx

The method of aiding the design process of glass containers with the use of configurator and augmented reality

Summary

The work is an attempt a new approach to solving a problem of aiding the desing process of glass containers.

Bearing in mind the current state of knowledge, the research problem was formulaited and the aim of the dissertation was defined, which was to develop a new effective method of supporting the design process of glass containers with the participation of a user who is neither a designer nor a constructor, moreover elaboration a system using a configurator and based on augmented realilty (AR) techniques, that would allow the practical implementation of this method.

Modern techniques of augmented reality make it possible to combine the real world with the virtual one in real time and in a three-dimensional environment, which opens completely new opportunities to run a design process in the real world, i.e. in the surrounding of existing products or in the target context in which the designed product will be presented (e.g. in storefront).

Techniques used in product configurators enable automation of certain operations by creating a set of rules defining ways, according to which various components can be combined with each other. So it means that when using a configurator, there is a possibility of dynamically adapting elements from the existing resource to the requirement of a broad group of clients, without the need to carry out project activities.

On the basis of the aforementioned, a hypothesis was made that it is possible to develop a mobile configurator of glass containers using software integration of augmented reality methods and CAx class parametric systems.

The second hypothesis has also been formulated, that due to the visualization of the container 3D model in its natural environment, the use of a configurator implemented on a mobile device contributes to an increase in the effectiveness of modeling.

The third thesis was also formulated that due to the specially developed interface of the configurator, the active participation of the user who ordered the new glass container is possible.

To prove the correctness of the hypothesis, the AR system with implemented methods was elaborated. The results proved the correctness of the formulated hypothesis.

Results of research confirm particular advantages derived from the method using AR techniques for aiding the design process of glass containers. Moreover, the elaborated method can help to shorten product development time.

Keywords: computer-aided design, product configurator, augmented reality, CAx class system