

Dr inż. Marcin JANUSZKA, email: [marcin.januszka@polsl.pl](mailto:marcin.januszka@polsl.pl)  
Instytut Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska

## PROJEKTOWANIE ERGONOMICZNE Z ZASTOSOWANIEM TECHNIK POSZERZONEJ RZECZYWISTOŚCI

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono zastosowanie nowoczesnych technik poszerzonej rzeczywistości (*ang. augmented reality, AR*) w procesie projektowania ergonomicznego maszyn i urządzeń. Techniki poszerzonej rzeczywistości pozwalają łączyć interaktywny, komputerowo generowany świat ze światem rzeczywistym w taki sposób, aby stanowiły one jedno zsyntezowane środowisko. Zastosowanie AR wspomaga i usprawnia analizę projektowanych rozwiązań z uwzględnieniem ergonomicznych kryteriów oceny, a proces projektowo-konstrukcyjny staje się bardziej intuicyjny niż w klasycznym podejściu.

## ERGONOMIC DESIGN WITH THE USE OF AUGMENTED REALITY TECHNIQUES

**Abstract:** This paper describes innovative interactive augmented reality (AR) techniques and its application in ergonomic design of machinery systems. Augmented reality can combine interactive computer generated objects with an real world in such a way that they appear as one environment. Augmented reality techniques allow to aid and improve analysis of design solutions, taking into account ergonomic criteria for the evaluation. This makes the design process more intuitive than in a classic approach.

### 1. WPROWADZENIE

Spośród szerokiego zakresu technik mogących znaleźć zastosowanie do wspomagania prac projektowo-konstrukcyjnych na szczególną uwagę zasługują systemy poszerzonej rzeczywistości (*ang. augmented reality, AR*). Termin poszerzona (rozszerzona lub wzbogacona) rzeczywistość opisuje systemy, w których komputerowo generowana informacja nakładana jest na obraz świata rzeczywistego, w taki sposób, aby stanowiły one jedno zsyntezowane środowisko [1]. W przeciwieństwie do bardziej popularnych systemów wirtualnej rzeczywistości (*ang. virtual reality, VR*), w których użytkownik jest całkowicie zanurzony w środowisku wirtualnym, poszerzona rzeczywistość daje swobodę działania w środowisku rzeczywistym, uzupełnia je i pozwala na wzbogacanie percepcji człowieka za pomocą interaktywnych wirtualnych obiektów (rys. 1) [1].

Środowisko AR może stanowi

idealne rozwiązanie dla analizy opracowanych projektów stanowisk pracy (w tym także maszyn wchodzących w skład tych stanowisk) pod kątem spełnienia zasad ergonomii. Prawidłowo zaprojektowane stanowisko pracy pozwala operatorowi pracować we właściwy sposób, eliminując tym samym ryzyko urazów oraz stresu. Podejście wykorzystujące techniki AR umożliwia prezentację opracowanego wirtualnego projektu maszyny w rzeczywistym środowisku jej działania, ograniczając tym samym potrzebę tworzenia rzeczywistych makiet. Zastosowanie AR pozwala na dokonanie analizy np.: wymiarów urządzenia pod kątem dostosowania do wzrostu

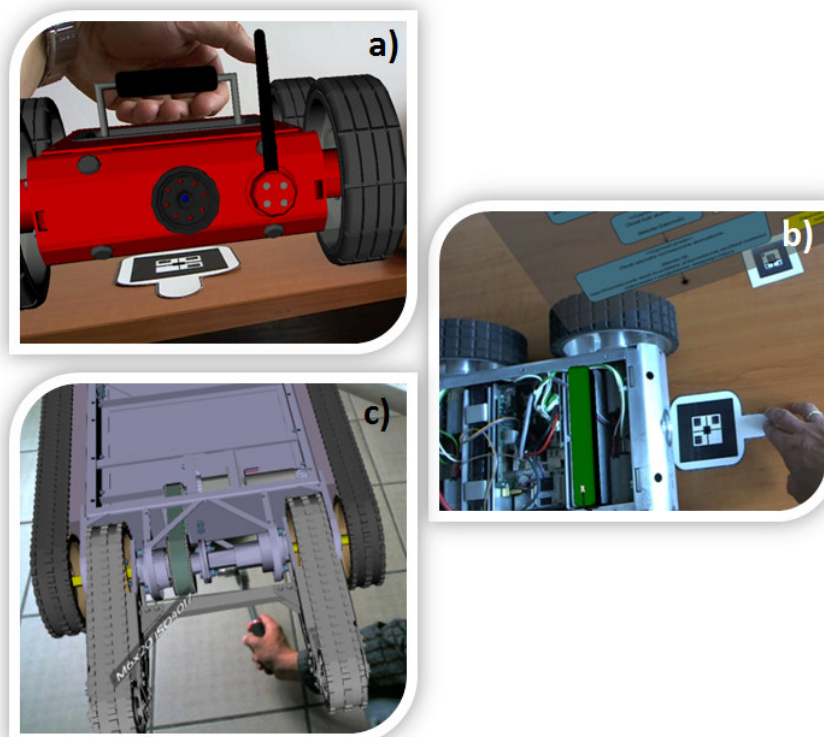
człowieka, rozmieszczenia urządzeń sygnalizacyjnych i sterowniczych zgodnie z zasadami projektowania ergonomicznego. Osoba dokonująca analizy pod kątem ergonomii może mieć możliwość pełnej interakcji z wirtualną maszyną (także oddziałującą na inne zmysły niż tylko wzrok, np. zmysł czucia i dotyku). W ten sposób ograniczona może zostać potrzeba przeprowadzania czasochłonnych symulacji komputerowych i analiz, w często kosztownych modułach programów CAx.

Niniejszy artykuł przedstawia wyniki badań w zakresie opracowanej metody i systemu (bazującego na metodzie) wykorzystujących techniki AR i służących do wspomagania procesu projektowania. Praca była częściowo finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010-2012 jako projekt badawczy. Artykuł przedstawia główne możliwości systemu poszerzonej rzeczywistości na wybranym przykładzie procesu projektowania ergonomicznego tj. projektowaniu pulpitu operatora. Zastosowanie AR w projektowaniu ergonomicznym niesie za sobą wiele korzyści, co starano się wykazać w niniejszym artykule. Korzyści te potwierdzają omówione w artykule wyniki badań w ramach przeprowadzonego eksperymentu.

## **2. WYBRANY PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA**

Opracowany przez Autora system AR wspomaga użytkowników w realizacji zadań w ramach procesu projektowego, w tym przeprowadzania analiz (empiryczna weryfikacja ergonomicznych rozwiązań konstrukcyjnych), koncentrujących uwagę na dostosowaniu produktu do fizycznych i psychicznych predyspozycji człowieka i/lub warunków użytkowania produktu (analiza pola widzenia, optymalizacja kształtu – rys. 2a, analizy wygody montażu – rys. 2bc).

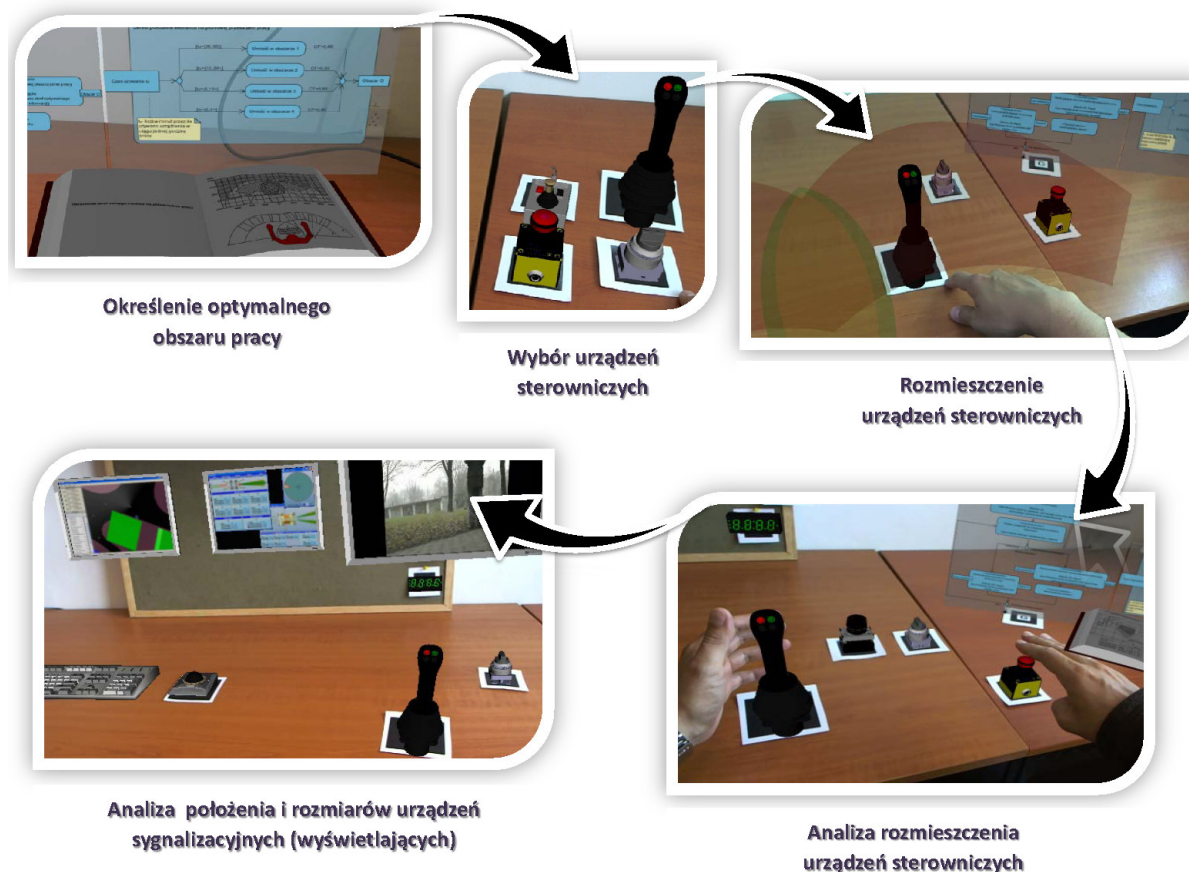
Przykładowe zastosowanie systemu może dotyczyć określenia typu, struktury przestrzennej i właściwości (np. rozmiaru) poszczególnych elementów dla pulpitu operatora robota mobilnego. W opracowaniu projektu pulpitu projektant powinien wykorzystać dostępne w bazie danych, w postaci modeli 3D urządzenia sterownicze (m.in. drążki sterownicze, przełączniki, przyciski) jak i sygnalizacyjne (głównie monitory). Decyzje projektowe powinny dążyć do spełnienia zasad projektowania ergonomicznego związanych z kryteriami antropometrycznymi (tj. zasięg rąk, pole optymalnego widzenia), ale także ujęciem procesowym (kolejność, czas, częstość użycia).



Rys. 2. Przykłady zastosowania systemu AR do przeprowadzania analiz ergonomicznych

W trakcie realizacji zadania projektant realizuje proces projektowy pulpitu operatora (rys. 3), zgodnie z pewną przyjętą procedurą. Jedną z najważniejszych czynności projektowych dla projektanta jest określenie odpowiedniego położenia urządzeń sterowniczych i wyświetlających wewnątrz przestrzeni pracy, zgodnie z zasadami projektowania ergonomicznego. W trakcie procesu projektowego projektant ma możliwość skorzystania z wiedzy pozwalającej określić optymalne strefy, w których powinny być umieszczane poszczególne urządzenia w zależności od częstości ich używania. Wiedza reprezentowana w postaci diagramów UML (*ang. Unified Modeling Language*) zawierających (klasy obiektów mogących występować w trakcie projektowania pulpitu, procedury projektowe, reguły wyboru), uzupełniona jest dodatkowo o wirtualne modele np. obszaru pracy czy urządzeń [4]. Wiedza ta jest dostarczana do projektanta przy użyciu systemu AR.

Dzięki dostarczanej wiedzy projektant może ograniczyć obszar poszukiwania optymalnego położenia danego urządzenia. Samo poszukiwanie optymalnej (ergonomicznej) pozycji danego urządzenia odbywa się w niezwykle prosty sposób. Użytkownik systemu (projektant) ręcznie zmienia położenie i orientację odpowiedniego markera (patrz punkt 3), do którego przypisany jest model urządzenia. W taki sposób możliwe jest odpowiednie rozmieszczenie wszystkich urządzeń. Analiza dokonywana jest również przy udziale człowieka, bez potrzeby budowy zaawansowanych środowisk symulacyjnych i tworzenia manekinów reprezentujących tego człowieka. Ograniczenie potrzeby tworzenia takich środowisk wirtualnych z manekinami szczególnego znaczenie nabiera w przypadku projektowania urządzeń jednostkowych – dopasowywanych do konkretnego pojedynczego użytkownika.



Rys. 3. Wybrane etapy procesu projektowania pulpitu operatora przy użyciu systemu AR

### 3. SYSTEM WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA

Zastosowanie systemu AR polega na tym, że projektant (lub grupa projektantów) wyposażony w wyświetlacz HMD prowadzi na komputerze prace mające na celu opracowanie pewnego środka technicznego (w opisywanym przykładzie pulpitu operatora). Zaproponowany system AR pozwala użytkownikowi na efektywną prezentację wiedzy (wcześniej pozyskanej i zapisanej w odpowiedniej bazie wiedzy) niezbędnej mu podczas realizacji procesu projektowego. Poza samym dostarczaniem wiedzy system umożliwi użytkownikowi także stosowanie tej wiedzy w trakcie procesu projektowego.

Wiedza reprezentowana może być za pomocą różnych środków reprezentacji [4]. Elementy wzbogacające rzeczywistość (środki reprezentacji wiedzy) mogą mieć różne formy np. trójwymiarowych modeli, napisów, schematów, rysunków, filmów, informacji dźwiękowych.

Prawidłowa realizacja funkcji systemu wymaga stosowania specjalistycznego sprzętu, w tym:

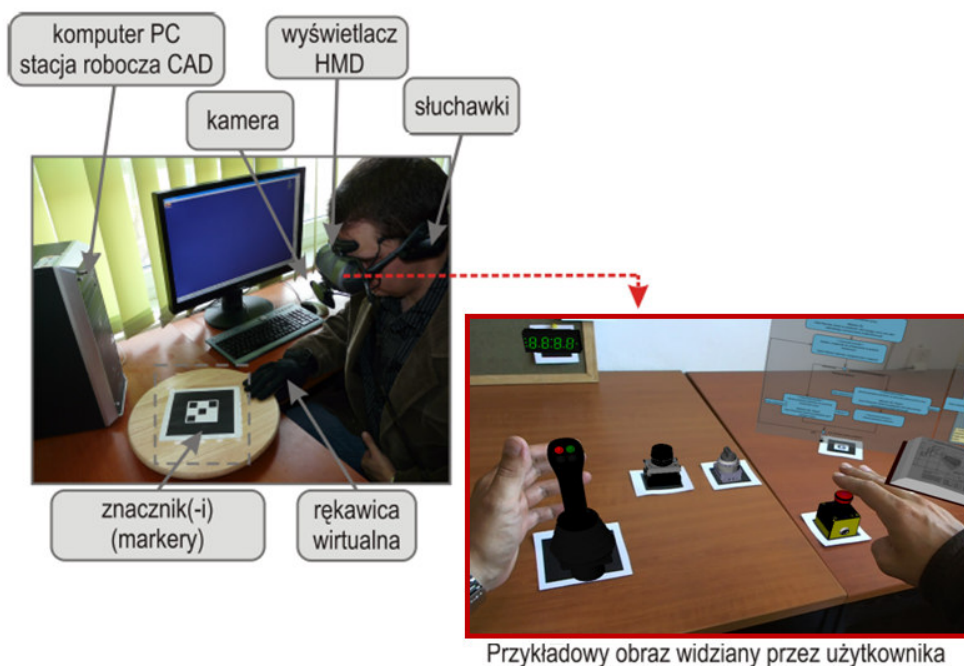
- specjalnych wyświetlaczy (najczęściej montowanych na głowie), przez które użytkownik jest w stanie zobaczyć obraz otaczającej nas rzeczywistości zsintezowany z obrazem generowanym komputerowo,
- specjalnego systemu śledzącego, pozwalającego prawidłowo łączyć takie obrazy w czasie rzeczywistym, w przestrzeni 3D otaczającej użytkownika.



W prezentowanym systemie wykorzystywane są wyświetlacze HMD z zainstalowanymi na nich kamerami [2] [3]. Kamera, stanowiąca element systemu śledzącego, rejestruje obraz świata otaczającego użytkownika systemu i przesyła zarejestrowane obrazy do komputera. Za pomocą wyświetlacza HMD możliwe jest natomiast dostarczenie użytkownikowi zszyntezowanego obrazu. W systemie AR za prawidłowe wzbogacanie świata rzeczywistego obiektami wirtualnymi odpowiada specjalistyczne oprogramowanie ARToolKit oraz BuildAR [5].

System może skutecznie wspomagać projektanta umożliwiając pozycjonowanie elementów względem siebie w przestrzeni AR w niezwykle intuicyjny prosty i szybki sposób [2]. Poprzez manipulację położeniem i orientacją specjalnej karty z markerem, do której przypisany jest wirtualny model elementu, zmienia się położenie i orientacja widzianego modelu elementu w rzeczywistej przestrzeni. Markery są wydrukowane na specjalnych kartkach. Dopóki położenie i orientacja markera są śledzone przez optyczny system śledzący (którego elementem jest kamera), dopóty możliwe jest określanie położenie głowy użytkownika względem markera (markerów). W rezultacie czego świat realny wzbogacony jest o wirtualne modele 3D zgodnie z położeniem i orientacją markerów (np. w miejscu markerów). Dzięki takiemu systemowi planowanie rozmieszczenia modeli wirtualnych jest o wiele wygodniejsze niż na planie roboczym aplikacji CAD, na ekranie monitora. Po zaakceptowaniu położenia i orientacji poszczególnych elementów (urządzeń) przez projektanta możliwe jest ich wyeksportowanie do systemu CAD, zgodnie z ustalonym położeniem i orientacją. W razie potrzeby model taki może być dalej przetwarzany w systemie CAD.

Opcjonalnym komponentem systemu jest rękawica wirtualna pozwalająca na alternatywne w stosunku do markerów manipulowanie parametrami modeli, ich położeniem i orientacją. Przykładowe stanowisko dla systemu poszerzonej rzeczywistości z podstawowymi komponentami sprzętowymi przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Komponenty systemu AR [4]

## 4. BADANIA WALIDACYJNE

Celem badań walidacyjnych w odniesieniu do opracowanego systemu (pośrednio także metody, na podstawie której powstał system) była ocena jego poprawności i przydatności w kontekście jego zastosowania do wspomagania procesu projektowania ergonomicznego z wykorzystaniem techniki AR. Ocenie poddany został wpływ sposobu wizualizacji wiedzy (a zatem środowiska pracy) na skuteczność realizacji pewnego zadania projektowego przez doświadczonych i niedoświadczonych projektantów. Do oceny systemu przyjęto miary ilościowe (czas realizacji zadania) oraz jakościowe (satisfakcja użytkownika).

### 4.1 Przebieg eksperymentu i uczestnicy

W celu umożliwienia oceny skuteczności opracowanego systemu wykorzystującego techniki AR przeprowadzono badania eksperymentalne, w ramach których uczestnicy realizowali pewne zadanie projektowe. Badania eksperymentalne przeprowadzone zostały przy udziale grupy liczącej 30 osób. Do udziału w badaniach zaproszeni zostali specjaliści, którzy posiadali wiedzę z zakresu projektowania. W badaniach udział wzięli zarówno doświadczeni jak i niedoświadczeni projektanci. Podzbiór doświadczonych projektantów liczył 10 osób, wśród których głównie znajdowali się specjaliści zatrudnieni w działach projektowo-konstrukcyjnych w firmach przemysłowych. Osoby te posiadały co najmniej 5-letnie doświadczenie w dziedzinie projektowania. Podzbiór niedoświadczonych projektantów liczył 20 osób. Osoby te posiadały doświadczenie poniżej 5 lat. W badaniu użytkownicy zostali podzieleni na cztery grupy, w tym: dwie grupy doświadczonych projektantów i dwie grupy niedoświadczonych. Przydziału do poszczególnych grup dokonano dzięki zastosowaniu procedury losowej.

Dwie grupy (jedna z grup projektantów doświadczonych i jedna z niedoświadczonych) realizowała zadanie projektowe (omówione w punkcie 2) przy użyciu opracowanego systemu AR. Pozostałe dwie grupy realizowały to samo zadanie z użyciem klasycznego systemu CAD. Środowisko AR przygotowane zostało w oparciu o system AR zintegrowany z systemem CATIA V5R20. Klasyczne środowisko systemu CAD przygotowane zostało w oparciu wyłącznie o system CATIA V5R20.

Walidacja systemu została przeprowadzona indukcyjnie, zgodnie z następującym planem:

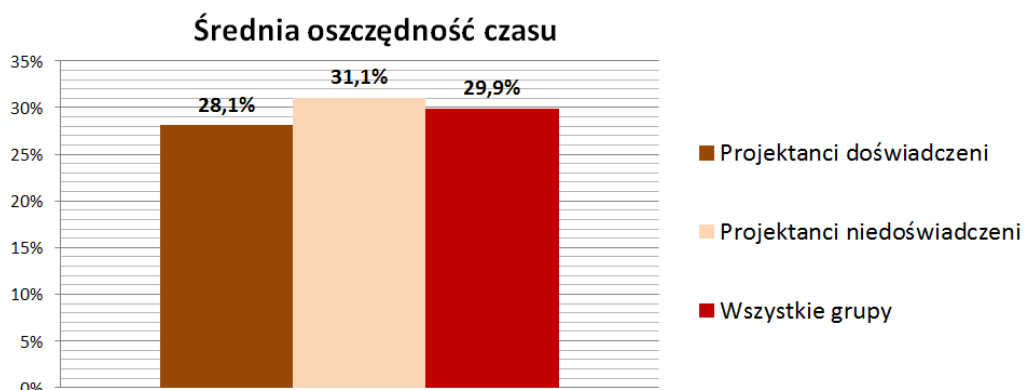
1. Szkolenie uczestników;
2. Realizacja zadania dotyczącego projektowania ergonomicznego pulpitu operatora;
3. Ocena metody pod kątem skuteczności wspomagania i satysfakcji uczestników procesu opracowania środka technicznego.

### 4.2. Ocena

Ocena systemu miała charakter jakościowy oraz ilościowy. Oceny ilościowej dokonano w wyniku obserwacji bezpośredniej. Najistotniejszym elementem podlegającym obserwacji był czas realizacji zadań. Dodatkowym narzędziem zastosowanym do oceny (ocena jakościowa) systemu były kwestionariusze. Do oceny zaadaptowany został kwestionariusz służący do oceny satysfakcji użytkownika - ASQ (ang. *After Scenario Questionnaire*). Uzyskane oceny pozwoliły odpowiedzieć

na pytanie czy zaproponowany system jest przydatny i pozwala na skuteczną realizację procesu projektowania ergonomicznego.

**Ocena ilościowa.** Podstawowym parametrem obserwowanym podczas realizacji eksperymentu był czas realizacji zadania projektowego przez uczestników eksperymentu. Analiza czasu realizacji zadania pozwoliła na ocenę wpływu wykorzystania systemu AR na zmianę czasu realizacji tego zadania w procesie opracowania produktu. Średnią oszczędność czasu dzięki zastosowaniu systemu AR do wspomagania projektanta podczas realizacji zadania przedstawia wykres na rys. 5.



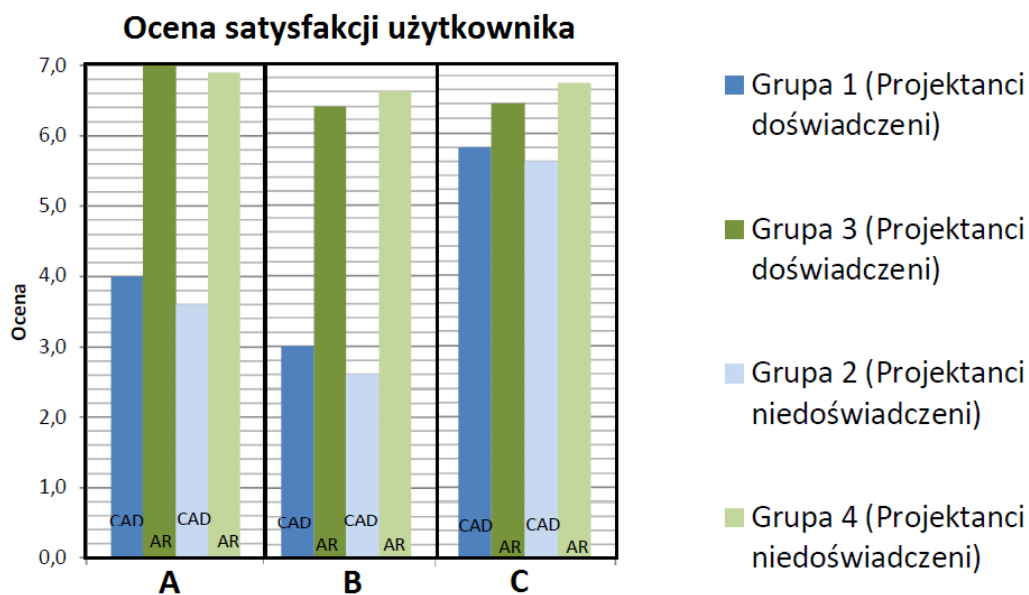
Rys. 5. Średnia oszczędność czasu realizacji zadania w wyniku zastosowania systemu AR

Analizując czasy realizacji zadania przez poszczególnych użytkowników zauważyć można, że dzięki zastosowaniu systemu AR uzyskano istotne skrócenie czasu realizacji zadania. Średnie skrócenie czasu realizacji zadania osiągnięto na poziomie 29,9%. Analizując wyniki zauważyć można, iż nieznacznie większą korzyść ze stosowania systemu AR czerpią mniej doświadczeni projektanci. Wynika to zapewne z ich mniejszej wiedzy oraz doświadczenia. Projektanci ci częściej muszą sięgać do zgromadzonej wiedzy, a dzięki systemowi AR mają do niej łatwiejszy dostęp, niż w przypadku tradycyjnie stosowanych systemów opartych na wiedzy. Doświadczeni projektanci posiadają większy zasób wiedzy i szczególnie przy realizacji pewnych zadań rutynowych nie mają potrzeby sięgać do zgromadzonej wiedzy.

**Ocena jakościowa.** Po ukończeniu zadania projektanci dokonywali jego oceny przy użyciu odpowiedniego kwestionariusza. Ocena systemu miała charakter jakościowy. W badaniu wykorzystano kwestionariusze stosowane w metodyce ASQ do pomiaru satysfakcji związanej z użytecznością systemu. Metodyka ta opracowana została przez firmę IBM. Kwestionariusz zawierał trzy stwierdzenia, do których ustosunkować miał się uczestnik badania (projektant):

- Całkowicie jestem usatysfakcjonowany z powodu prostoty wykonania zadania.
- Całkowicie jestem usatysfakcjonowany z powodu czasu w jakim można zrealizować zadanie.
- Całkowicie jestem usatysfakcjonowany z ilości wiedzy i informacji oraz sposobu ich prezentacji w trakcie realizacji zadania.

Uczestnicy badania ustosunkowywali się do stwierdzeń za pomocą siedmiostopniowej skali Likerta. Skala ocena została określona od oceny 1 – zdecydowanie nie zgadzam się, przez 4 – nie mam zdania, aż do 7 – zdecydowanie zgadzam się. Wyniki oceny przedstawiono w na rys. 6.



Rys. 6. Wyniki oceny satysfakcji użytkownika systemu AR: A – Ocena satysfakcji z prostoty realizacji zadań, B – Ocena satysfakcji z czasu realizacji zadań, C – Ocena satysfakcji dot. wiedzy i informacji podczas realizacji zadań

Analizując oceny satysfakcji projektantów z użyteczności systemu dla zadania zauważyć można, że projektanci odczuwali większą satysfakcję realizując zadanie z wykorzystaniem systemu AR. Zarówno projektanci doświadczeni i mniej doświadczeni dokonywali wyższej oceny satysfakcji z zastosowania systemu AR niż z zastosowania wyłącznie systemu CAD. W przypadku projektantów niedoświadczonych zauważyć można było jednak większą różnicę zadowolenia pomiędzy oboma systemami (na korzyść systemu AR). Doświadczeni projektanci, pomimo iż w większości wyżej oceniali system AR, to jednak wzrost zadowolenia ze stosowania tego systemu nie był aż tak duży, jak projektantów z mniejszym doświadczeniem. Spowodowane mogło to być głównie przyzwyczajeniem doświadczonych projektantów do tradycyjnych narzędzi wspomagania i większą ostrożnością przy wykorzystaniu nowoczesnych rozwiązań wspomagających ich prace.

## 5. PODSUMOWANIE

Jak wykazały przeprowadzone badania wykorzystanie systemu AR zintegrowanego z systemem CAD powinno skrócić czas opracowania optymalnego ergonomicznego rozwiązania projektowego, w stosunku do czasu jego opracowania w modelu tradycyjnym (przy użyciu wyłącznie systemu CAD). Dodatkowa korzyść osiągnięta w wyniku zastosowania technik poszerzonej rzeczywistości to ograniczenie kosztów opracowania rozwiązań. Przedstawione korzyści wynikają głównie z:

- ograniczenia potrzeby tworzenia wirtualnych środowisk dla analiz i symulacji,
- ograniczenia potrzeby budowy fizycznych prototypów,
- możliwości wizualizacji i interakcji z obiektami w niezwykle intuicyjny sposób,
- możliwości prezentacji w dowolnej skali także w skali 1:1,
- lepszej interpretacji prezentowanej wiedzy.

Obecnie pomimo wciąż pewnych problemów technologicznych (jakość wizualizacji i dokładność śledzenia wymagają udoskonalenia) oraz ekonomicznych



(w chwili obecnej wysoki koszt sprzętu) korzyści wynikające ze stosowania techniki poszerzonej rzeczywistości pozwalają mieć nadzieję, że pewnego dnia systemy tego typu staną się powszechnie stosowane i przyczynią się do dalszej racjonalizacji procesów opracowania środków technicznych.

## LITERATURA

- [1] Azuma R.T., *A survey of augmented reality*. Teleoperators and Virtual Environments, 6, 4(1997): 355–385, 1997.
- [2] Januszka M., *Techniki poszerzonej rzeczywistości w procesie opracowania produktu*, Mechanik 2/2012, s. 153 (pełna wersja na CD-ROM)
- [3] Januszka M., *Zastosowanie technik poszerzonej rzeczywistości w cyfrowym prototypowaniu*, Mechanik 8-9/2010, s. 634-637
- [4] Januszka M., Moczulski W., *Acquisition and Knowledge Representation in the Product Development Process with the Use of Augmented Reality*, J. Stjepandic et al. (eds.), Concurrent Engineering Approaches for Sustainable Product Development in a Multi-Disciplinary Environment, Springer-Verlag London 2013, s. 315-326
- [5] Januszka M., Moczulski W., *Augmented reality system for aiding engineering design process of machinery systems*, Journal of Systems Science and Systems Engineering, 20 (3): 294-309, Springer, 2011.
- [6] Milgram P., Takemura H., Utsumi A., Kishino F., *Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum*. SPIE Telemanipulator and Telepresence Technologies, 2351, 1994.